太忻地区城市扩展特征及驱动力分析

韩晚星，耿甜伟

（太原师范学院地理科学学院，晋中 030619）

摘要：太忻经济区是引领山西中部城市群发展的重要引擎，基于多源遥感数据对2000—2023年太忻经济区提取城市建成区范围，利用城市扩展指数分析、重心坐标和等扇分析法等方法分析城市扩展过程，并利用灰色关联法分析相关驱动因素，揭示其城市扩展特征与规律。结果表明：2000—2023年太忻地区城市年均扩展速度为12.5 km^2，2020—2023年速度最快，年均达18.31 km^2；太忻地区城市空间整体紧凑度水平较低，但趋于紧凑发展；城市重心迁移距离较大，呈现明显向东北方向移动的趋势；城市空间扩展方向主要为东北和西南方向，东北方向扩展面积为51.73 km^2；人口、经济、社会和政策因素都具有正向影响，其中人口和社会因素影响最为显著。

关键词：城市空间扩展；时空特征；太忻地区；灰色关联分析

中图分类号：K901 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)08－0124－08

城市是人类社会经济活动的核心载体，城市化在地理空间扩展的时空特征是区域城市化过程的重要体现[1]。随着经济水平和人口数量高速增长，中国城市化进程加速推进，城市用地面积持续扩张，城市与城市之间、城市与区域之间的功能联系日益紧密，区域一体化的深入推动城市空间结构不断转型[2-3]。对城市空间演变特征和规律以及驱动因素进行分析，有助于引导发展规划政策的制定，对调节城市化进程并推动城市区域建设的可持续发展具有重要意义[4]。

国内关于城市扩展的相关研究开始于20世纪80年代，学者们主要关注城市空间扩展形态[5-7]、扩展模式[8-9]和驱动因素分析[10-11]等方面的研究。关于城市扩展形态，学者多使用紧凑度、标准差椭圆和等扇分析等方法对城市空间形态进行分析[12-14]；对于城市扩展模式方面，研究多集中于单一城市扩展模式的分析，李翅等基于城市经济模式等因素对城市用地的扩展模式进行归纳总结，提出分散型和密集型的城市用地扩展模式[14]；杨荣南和张雪莲[15]提出在多种要素的组合影响下，城市扩展主要有集中型同心圆式、沿主要对外交通轴线带状扩展式、跳跃式成组团扩展模式和低密度连续蔓延式四种模式，几种模式往往通过交替和组合表现出来；关于城市空间扩展驱动因素的研究层面，王成新等[16]从自然和社会两方面因素对济南城市扩展规律进行分析，并提出需进一步协调人口城镇化与土地城镇化；王绍博等[17]将城市扩展驱动因素归结为行政力、市场力、外向力及内在凝聚力等方面，并建立多元回归方程对上海城市空间扩展的驱动机制进行分析。早期国内对于内陆地区的城市扩展研究相对较少，学者们主要聚焦于京津冀、珠三角、长三角地区等沿海地区发展水平较高的大城市[18-20]，而近年来国内相关研究逐渐转向关注内陆地区城市及城市圈的扩展分析[21-22]。

《山西中部城市群太忻一体化经济区空间战略规划》（以下简称《规划》）指出，太忻经济区是山西服务雄安新区的重要走廊和全省高质量发展的引擎，通过分析太忻地区的城市扩展时空特征，能够揭示其动态演变规律，有助于推动山西中部城市群发展，并促进其进一步融入京津冀协同发展格局。基于太忻地区多期遥感影像数据提取城市建成区范围，运用多种指标分析城市空间扩展过程和特征，并探讨城市扩展的驱动因素，对实现城市高质量发展和科学有序规划具有重要现实意义。

1 研究区概况

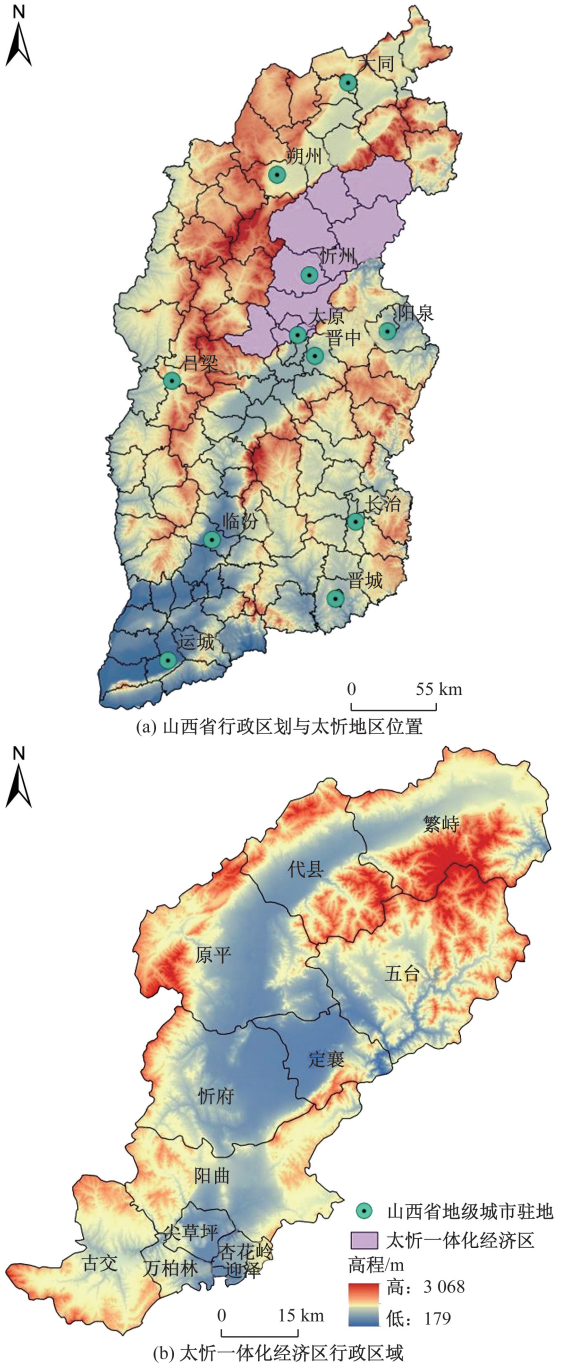
太忻经济区是山西省唯一纳入国家级区域重大战略的省级战略区域，其涵盖范围包含太原与忻州两市的12个县（市、区）。具体包括太原市的尖草

收稿日期：2025-12-04

基金项目：山西省基础研究计划青年项目（202203021222243，202303021222222）

作者简介：韩晚星（2001—），男，山东东营人，硕士研究生，研究方向为城市地理与城乡规划；通信作者耿甜伟（1993—），男，山西吕梁人，博士，硕士研究生导师，研究方向为城市景观过程与城市地理。

坪区、杏花岭区、万柏林区、迎泽区、古交市、阳曲县,以及忻州市的忻府区、原平市、定襄县、五台县、代县和繁峙县。总面积约 2.4 万 km^2。地处太原盆地与忻定盆地之间,地势总体西北高、东南低,地貌类型多样(图 1)。2000 年太忻地区生产总值为 147.37 亿元,第一产业产值为 16.43 亿元,第二产业产值为 66.76 亿元,第三产业产值为 64.18 亿元;2023 年生产总值达 4 278.71 亿元,三产结构为 2.12∶35.92∶61.96。2000 年常住人口为 417.24 万人,2023 年人口增长至 506.73 万,年均增长率约为 0.85%。2017 年山西省政府首次提出“太原-忻州协同发展”构想,为区域一体化发展奠定初步基础;2022 年《山西中部城市群太忻一体化经济区空间战略规划》正式出台,确立了明确的空间发展框架和建设指引,同时直接推动了太忻大道、雄忻高铁等一系列重大基础设施的规划实施,成为区域发展的重要转折点。太忻地区是山西省推动区域协调发展和融入京津冀协同发展战略的重要平台,正加快推进基础设施互联互通、产业协同发展,县城作为城镇体系的重要组成部分,在以县域为重要载体的城镇化新发展背景下,分析太忻地区城市扩张时空特征对区域一体发展具有一定参考意义。



审图号:GS(2024)0650 号

图 1 太忻地区研究区概况

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

选取太忻地区多期遥感影像为数据源,分别选取 2000 年、2005 年、2010 年 Landsat5 TM 遥感影像和 2015 年、2020 年、2023 年 Landsat8 OLI 遥感影像以及 DMSP/OLS 和 NPP/VIIRS 夜间灯光数据,运用不变区域法和最佳阈值法对夜间灯光数据进行矫正处理[23-24],Landsat 遥感影像数据预处理包括波段合成、投影变换和裁剪等操作,利用 Landsat 计算 VBANUI 指数初步识别城市建成区范围[25],再对范围内遥感数据运用支持向量机(support vector machine,SVM)监督分类法提取出 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年和 2023 年太忻地区的城市建成区,对多期建成区进行叠加分析得出太忻地区城市建成区扩展结果。

辅助数据包括太原市、忻州市行政区划矢量数据,来源于自然资源部;统计数据来源于《山西统计年鉴》《太原统计年鉴》《忻州统计年鉴》。

2.2 研究方法

2.2.1 扩展速度(UV)

扩展速度(UV)反映研究期内平均每年增加的城市建设用地面积,计算公式为

$$UV = \frac{U_b - U_a}{T} \tag{1}$$

式中:U_a 为初期研究区域的城市建成区面积;U_b 为末期研究区域的城市建成区面积;T 为研究时间跨度。

2.2.2 扩展强度(UP)

扩展强度(UP)反映研究区域城市建设用地面积相对于上一个时期变化情况,计算公式为

$$UP = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \tag{2}$$

式中：UP 为研究区域的城市扩展强度水平。

2.2.3　紧凑度

紧凑度指标可以反映城市空间形态变化情况，数值越接近 1，表明空间形态越趋于紧凑，其计算公式为

$$C = \frac{2\sqrt{\pi A}}{P} \tag{3}$$

式中：A 为城市建成区面积；P 为周长。

2.2.4　重心指标

通过计算各时间段的重心坐标，对重心移动的方向和距离进行分析。

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_{t_i} X_i}{\sum_{i=1}^{n} C_{t_i}} \tag{4}$$

$$Y_t = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_{t_i} Y_i}{\sum_{i=1}^{n} C_{t_i}} \tag{5}$$

式中：X_t、Y_t 分别为第 t 时期城市空间分布重心的经、纬度；C_{ti} 为 t 时期第 i 个区域的面积；X_i、Y_i 分别表示 i 区域几何中心纬、经度度坐标。

$$M = \sqrt{(X_{t+n} - X_t)^2 + (Y_{t+n} - Y_t)^2} \tag{6}$$

式中：M 为 $t+1$ 时期重心迁移距离；X_{t+n}、Y_{t+n} 分别为 $t+n$ 时段重心坐标。

2.2.5　象限方位

运用象限方位分析法可以探究城市空间在不同方向上扩展的情况，以 2000 年太忻城市几何中心为圆心，以南北方向为纵坐标轴，东西方向为横坐标轴，绘制 16 个等扇区域，分别代表 16 个方向，结合叠加分析统计各方向建成区扩展面积，得出反映面积扩展程度的雷达图。

2.2.6　灰色关联度

利用灰色关联法来探究各驱动因子与城市扩展之间的关联程度，灰色关联法是通过比较一系列数据序列曲线的几何形状的相似程度，用来判断它们之间的关联紧密程度的分析方法。灰色关联度值介于 0～1，越接近 1，说明两个因素之间关联度越强。其计算公式为

$$\zeta_i(k) = \frac{\min\limits_i \min\limits_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max\limits_i \max\limits_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \max\limits_i \max\limits_k |x_0(k) - x_i(k)|} \tag{7}$$

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} \zeta_i(k) \tag{8}$$

式中：$\zeta_i(k)$ 为关联系数；r_i 为灰色关联度；X_0 为初值化参数值；$x_i(k)$ 为初值化比较值；i 为比较数列的个数；k 为每个比较对象的指标个数；ρ 为分辨系数，通常取值 0.5[26-27]。当数值 $0.8 \leqslant r_i \leqslant 1$ 时，关联强度为强；当 $0.6 \leqslant r_i < 0.8$ 时，关联强度为较强；当 $0.4 \leqslant r_i < 0.6$ 时，关联强度为中等；当 $0.4 \leqslant r_i < 0.6$ 时，关联强度为较弱；当 $0.2 < r_i < 0.4$ 时，关联强度为弱[28]。

3　结果分析

3.1　城市扩展特征

2000—2023 年太忻地区城市建成区面积共增长 287.46 km²，面积增长约 1.8 倍，整体扩展速度呈现波动增长趋势，年均扩展速度为 12.5 km²/年，扩展强度为 3.39%。

如表 1 和表 2 所示，2000—2005 年，太忻地区城市建成区面积增加 41.44 km²，扩展速度为 8.29 km²/年，扩展强度为 2.25%，为中速扩展型，其中忻府区和原平市面积增加最多。2005—2010 年，太忻地区城市建成区面积增加 72.35 km²，扩展面积比上一个阶段增加了近 1 倍左右，扩展强度提高到 3.52%，为五个时期的最高值，属于快速扩展型，该时期忻州部分增长明显，繁峙县和代县增长较快。2010—2015 年，太忻地区城市建成区面积扩展 75.01 km²，扩展速度提高到 15.01 km²/年，扩展强度为 3.11%，属于快速扩展型，内部增长仍以忻州地区为主，但速率有所减缓。2015—2020 年，太忻地区城市建成区面积增加 43.75 km²，扩展速度与强度呈现减缓态势，扩展速度为 8.75 km²/年，扩展强度为 1.57%，处于较缓慢扩展阶段，扩展速度与强度均为所有阶段最低值；太忻 12 县（市、区）中仅有迎泽区保持增长速率，其他地区增长速率均较前一时期降低，该时期国家大力推进“供给侧结构性改革”，作为煤炭产业为主的地区，去产能任务艰巨，一些高耗能、高污染的产业面临关停，新增工业用地需求减少，一定程度上减缓了城市建成区扩张的速度。2020—2023 年，太忻地区城市建成区扩展速度回升，达到 18.31 km²/年，为 5 个阶段最大值，面积增加 54.92 km²，扩展强度为 3.04%，地区内部整体呈现增速态势；随着太忻地区基础设施联通和产业协同布局发展，区域城市化进程不断推进，城市建设用地扩展速度明显提高。如图 2 所示。

3.2　紧凑度

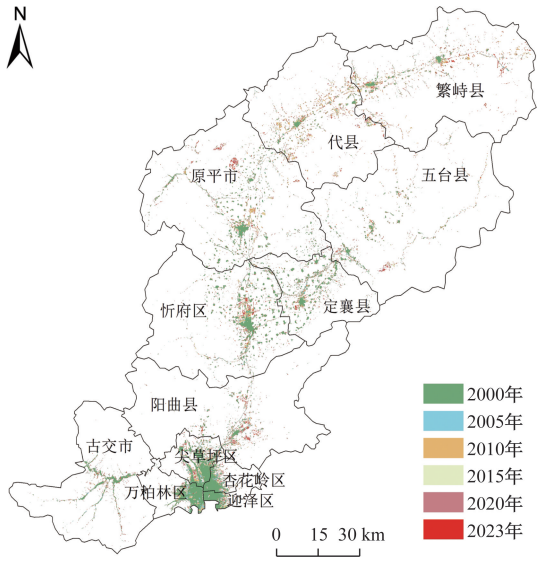
如表 3 所示太忻地区城市扩展紧凑度较低，呈现先降低后逐步提高的“U”形变化趋势。由于与以

表 1　扩展速度、强度统计

变量	2000—2005 年	2005—2010 年	2010—2015 年	2015—2020 年	2020—2023 年
扩展速度/(km^2·期$^{-1}$)	41.44	72.35	75.01	43.75	54.92
扩展速度/(km^2·年$^{-1}$)	8.29	14.47	15.01	8.75	18.31
扩展强度/%	2.25	3.52	3.11	1.57	3.04

表 2　各县(市、区)扩展统计情况

县(市、区)	2000—2005 年		2005—2010 年		2010—2015 年		2015—2020 年		2020—2023 年	
	扩展面积/km^2	年均增长/%	扩展面积/km^2	年均增长/%	扩展面积/km^2	年均增长/%	扩展面积/km^2	年均增长/%	扩展面积/km^2	年均增长/%
代县	4.53	3.22	15.48	7.96	13.23	5.14	7.26	2.31	8.23	3.90
定襄县	2.84	1.59	3.42	1.79	3.65	1.74	2.70	1.19	2.31	1.62
繁峙县	4.28	5.21	9.13	8.15	6.18	4.05	3.56	1.99	7.52	6.17
古交市	2.27	1.67	1.45	0.99	1.30	0.85	0.82	0.52	2.80	2.81
尖草坪区	1.65	2.70	1.18	1.74	1.56	2.08	1.72	2.07	2.91	5.20
万柏林区	5.75	2.37	4.88	1.81	7.83	2.60	5.14	1.54	2.65	1.24
五台县	1.49	2.73	3.81	5.75	4.58	5.30	1.89	1.81	2.97	4.36
忻府区	8.26	1.28	13.07	1.87	15.22	1.98	7.60	0.91	10.02	1.93
杏花岭区	1.12	4.91	0.91	3.24	3.10	8.48	3.43	6.51	2.90	7.08
阳曲县	2.99	3.10	1.99	1.81	1.73	1.46	1.22	0.97	1.80	2.25
迎泽区	0.04	2.38	0.03	1.63	0.07	3.56	0.09	3.73	0.06	3.57
原平市	6.20	2.38	17.01	5.49	16.55	4.19	8.32	1.79	10.75	3.57



审图号:GS(2024)0650 号

图 2　太忻地区城市建成区扩展

表 3　太忻地区城市紧凑度

变量	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年	2023 年
紧凑度	0.023 9	0.023 5	0.022 9	0.0217 6	0.022 1	0.022 2

常规的单一城市为研究区域不同,太忻经济区由两个城市的部分地区组成,在地级市城市发展规划和行政壁垒等因素的影响下,太忻地区城市扩展紧凑度总体较低,但近年来紧凑度正在逐步升高,表明在太忻地区城市扩展正趋于紧凑发展。

3.3　城市重心坐标

重心的移动可以反映城市扩展的方向,基于 ArcGIS10.8 计算出 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年和 2023 年太忻经济区的重心坐标,并测量得出各时期间重心坐标的迁移距离。

如图 3 所示太忻地区城市的主要扩展方向为东北方向,2000—2005 年重心移动幅度最大,重心迁移距离为 7 497.73 m;2005—2010 年重心移动幅度较大,重心向东北方向迁移 5 219.46 m;2010—2015 年幅度有所减小,迁移距离为 2 361.65 m;2015—2020 年重心移动幅度最小,迁移距离为 636.7 m;2020—2023 年太忻地区城市重心移动幅度比上一时期有所提升,迁移距离为 1 286.34 m,该时期内区域战略的出台推动了太原部分向北发展(表 4)。总体来看,20 世纪以来太忻地区城市扩展方向明显,重心移动距离达 17 km,主要原因为忻州部分城市发展速度较快,带动重心向东北方向迁移。

3.4　空间扩展方向

以太忻地区 2000 年的城市重心为原点,将建成区划分为 16 个象限的区域,对各时期太忻地区城市建设用地在不同方向上的扩展程度进行分析。如图 4 所示,2000 年以来,NE、NNE 和 SSW 为地区的主要扩展方向,2000—2005 年,SSW 为主要扩展方向,扩展面积为 9.1 km^2;2005—2010 年,主要扩展方向为 N、NNE 和 NE,扩展面积分别为 8.97、16.98、16.03 km^2,2005 年山西省公布的《山西省城镇化发展纲要》提出构建“太原城市圈”,忻州作为

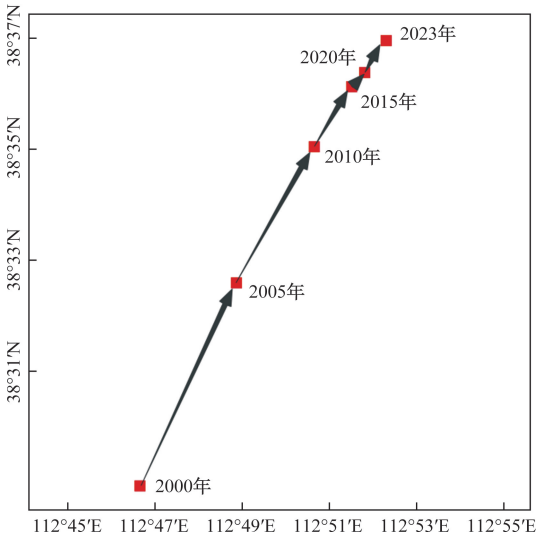


图 3　太忻地区 2000—2023 年城市重心坐标

表 4　各时期城市重心坐标及迁移距离

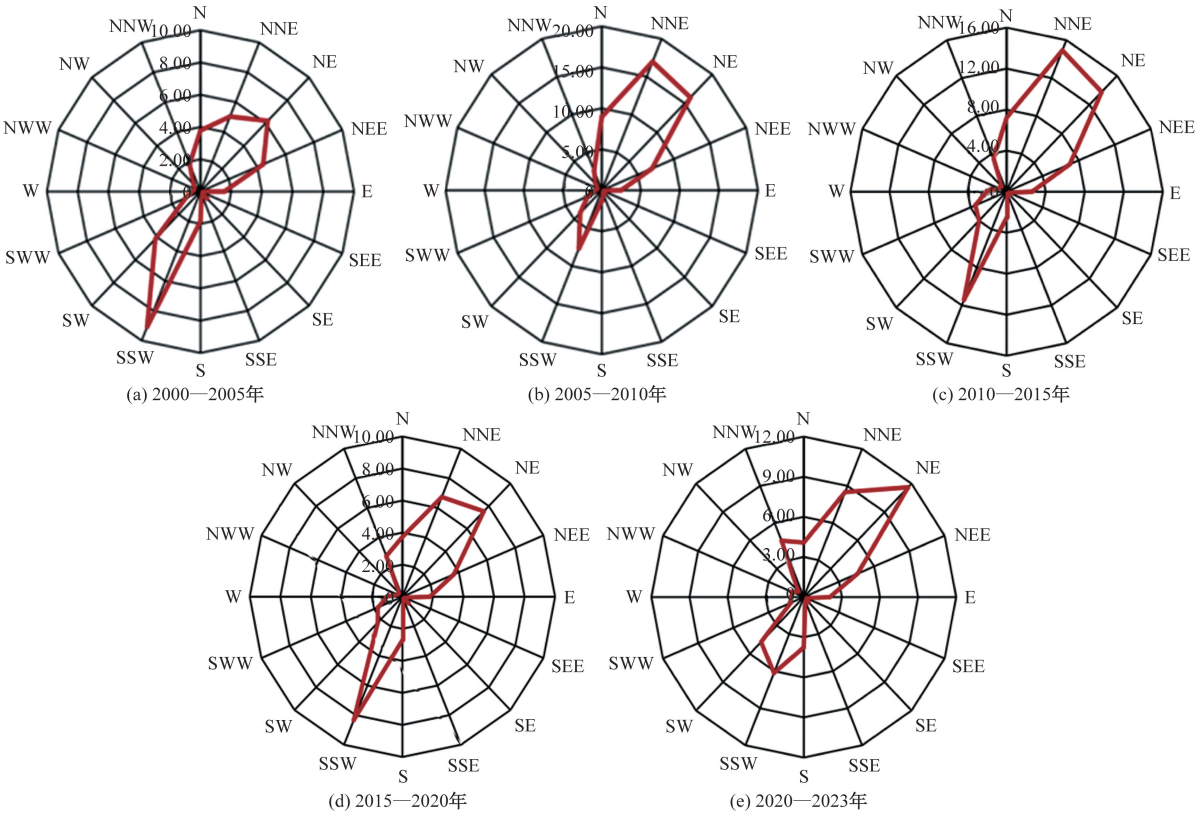
年份	经度(E)	纬度(N)	重心迁移距离/m
2000	112° 46′ 40.356"	38° 28′ 53.160"	—
2005	112° 48′ 58.608"	38° 32′ 30.730"	7 497.73
2010	112° 50′ 49.387"	38° 34′ 55.959"	5 219.46
2015	112° 51′ 42.680"	38° 36′ 0.126"	2 361.65
2020	112° 52′ 0.828"	38° 36′ 15.080"	636.70
2023	112° 52′ 31.388"	38° 36′ 49.219"	1 286.34

区域次中心的地位，带动忻州地区城市扩展速度加快，东北方向开始成为太忻地区城市建设的主要扩张方向；2010—2015 年，主要扩展方向为 NNE、NE 和 SSW，其中 NNE 方向扩展面积最大，为 14.92 km^2，该时期忻州积极推动融入太原都市圈，云中新区的建设促进忻州城区扩容和产业转型，忻府区、定襄县和原平市积极对接太原；2015—2020 年，SSW、NE 为主要扩展方向，分别为 8.34 km^2 和 7.54 km^2；2020—2023 年，主要扩展方向为 NE，扩展面积为 11.61 km^2，《规划》提出构建依托雄心高铁、108 国道等向东北方向延伸至京津冀的东轴，说明东北方向为发展优先区域，原平板块的发展和区域产业的转移承接进一步带动了太忻城区向东北方向的发展格局。

4　驱动因子分析

4.1　指标选取及灰色关联度

已有学者研究表明，影响城市发展的主要因素包括经济因素、人口因素、社会因素、政策因素等，参考相关研究成果[29-32]，选取代表人口、经济、社会和政策方面影响太忻地区城市扩展的 12 个驱动因子作为指标，利用灰色关联度分析法对各驱动因子进行探析。如表 5 所示。



(a) 2000—2005年　(b) 2005—2010年　(c) 2010—2015年

(d) 2015—2020年　(e) 2020—2023年

图 4　太忻地区不同时期各方向建成区扩展

无量纲化处理:以城市面积(X_0)作为参考列,对所选数据数列进行初值法处理。

由式(8)计算出灰色关联系数矩阵,得到灰色关联度评价如表6和表7所示。

4.2 驱动力

4.2.1 人口

如表8所示,非农业人口因子关联度0.972 9,为所有因子中关联度最高,非农业人口数量的增长对于太忻地区城市面积扩展影响最为显著。非农业人口的增加直接意味着城市中新市民和家庭数量的增长,大量人口向城市涌入使得城市承载压力加大,新增城镇人口的聚集导致更多的城市住房、就业岗位等需求,促进了城市工业、商业用地以及住房用地的外延,以满足人口增加的用地需求。

表5 驱动因子指标选取

一级驱动因子	二级驱动因子	单位
人口	非农业人口(X_1)	万人
	人口密度(X_2)	人/km^2
经济	GDP(X_3)	亿元
	第二产业(X_4)	亿元
	第三产业(X_5)	亿元
	社会消费品零售总额(X_6)	亿元
社会	医疗卫生机构床位数(X_7)	张
	公路里程(X_8)	km
	普通中小学在校人数(X_9)	万人
政策	地方财政预算收入(X_{10})	亿元
	地方财政预算支出(X_{11})	亿元
	固定资产投资额(X_{12})	亿元

表6 灰色关联初值化数据

影响因子	2005年	2010年	2015年	2020年	2023年
X_0	1.000 0	1.176 2	1.358 9	1.465 4	1.599 2
X_1	1.000 0	1.192 7	1.245 7	1.396 9	1.430 0
X_2	1.000 0	0.756 6	0.832 5	0.797 2	0.733 8
X_3	1.000 0	1.770 0	2.515 0	3.973 2	5.270 4
X_4	1.000 0	1.661 5	1.911 0	2.590 5	3.708 8
X_5	1.000 0	1.868 6	3.314 2	5.344 8	6.770 4
X_6	1.000 0	1.847 8	3.654 2	3.671 0	4.199 9
X_7	1.000 0	1.611 4	2.058 4	2.443 5	2.634 3
X_8	1.000 0	1.481 4	1.527 1	1.548 3	1.763 8
X_9	1.000 0	1.612 6	2.147 7	2.397 3	2.332 8
X_{10}	1.000 0	2.004 0	3.431 6	4.119 0	5.147 7
X_{11}	1.000 0	1.958 3	3.842 4	5.943 9	6.769 4
X_{12}	1.000 0	1.577 1	3.796 1	2.819 5	2.244 0

表7 灰色关联系数矩阵

影响因子	2005年	2010年	2015年	2020年	2023年
X_1	1.000 0	0.993 7	0.958 1	0.974 2	0.938 6
X_2	1.000 0	0.860 4	0.830 9	0.794 6	0.749 2
X_3	1.000 0	0.813 2	0.691 0	0.507 6	0.413 2
X_4	1.000 0	0.842 0	0.824 1	0.696 8	0.550 7
X_5	1.000 0	0.788 8	0.569 4	0.399 9	0.333 3
X_6	1.000 0	0.793 8	0.529 7	0.539 7	0.498 5
X_7	1.000 0	0.856 0	0.787 1	0.725 5	0.714 1
X_8	1.000 0	0.894 4	0.938 9	0.968 9	0.940 1
X_9	1.000 0	0.855 6	0.766 3	0.735 1	0.779 0
X_{10}	1.000 0	0.757 5	0.555 1	0.493 5	0.421 5
X_{11}	1.000 0	0.767 8	0.510 1	0.366 0	0.333 4
X_{12}	1.000 0	0.865 8	0.514 8	0.656 3	0.800 4

表8 灰色关联度评价

影响因子	关联度	强度
非农业人口(X_1)	0.972 9	强
人口密度(X_2)	0.847 0	强
GDP(X_3)	0.685 0	较强
第二产业(X_4)	0.782 7	较强
第三产业(X_5)	0.618 3	较强
社会消费品零售总额(X_6)	0.672 4	较强
医疗卫生机构床位数(X_7)	0.816 5	强
公路里程(X_8)	0.948 5	强
普通中小学在校人数(X_9)	0.827 2	强
地方财政预算收入(X_{10})	0.645 5	较强
地方财政预算支出(X_{11})	0.595 4	中等
固定资产投资额(X_{12})	0.767 4	较强

4.2.2 经济

经济是城市扩展中重要的驱动力,经济增长直接体现为地区生产总值的增加。如表8所示,代表经济因素的因子对于城市面积扩展关联强度整体较强,其中第二产业关联度0.782 7最高。随着太忻地区生产总值的迅速增加,第二、三产业产值不断提高,大盂产业新城、阳曲产业园区以及中北高新技术产业开发区等产业区的建设和扩容,带动相关基础设施和配套服务设施建设,使得对城市建设用地的需求增大,推动其他用地面积向城市建设用地的转变,进一步促使城市建成区面积的扩大。

4.2.3 社会

社会因子医疗卫生床位数和公路里程关联强度都较大,分别为0.816 5和0.948 5,这说明社会因素对太忻地区城市建成区扩展具有很强的推动作用。医疗卫生床位数体现城市的公共服务水平,城市公共服务水平是城市面积扩展内在的持续动力。优质的公共服务资源增强了对人口的吸引力,促使人口向该城市持续流入,同时公共服务水平的提高又满足了人口增加带来的诸多需求,推动城市空间的可持续增长。公路总里程体现了太忻地区的交通水平,太忻大道的建成通车使得太原主城区与忻州市区之间的通勤距离大幅缩短,通行时间仅需30 min,大幅度降低了人流、物流、资金流的时间成本,同时吸引沿线产业集聚,推动“带状”经济的发展。太忻大道为两市“同城化”奠定了重要基础,

太忻大道促使太原的城市扩展主力向北、忻州向南的相向发展。

4.2.4 政策

政策因子对城市扩展的影响具有正向推动作用，相比于其他因子的关联强度稍低，这与政策的滞后性有关。政策因素是推动太忻地区城市面积扩展的关键引导力和加速器，近年来太忻地区的政府投入明显增加，战略导向作用日益增强，《规划》明确了“一核双轴多组团”的空间布局，推动了各项重要交通线路的建设和完善，同时吸引了大量产业、投资等资源的集聚，从而推动太忻地区的城市扩展。在政策的引导下，太原大盂产业新城作为先行启动的核心区域，打破了行政壁垒，促使企业和人口集中。太忻经济区大力推进基础设施和产业园区建设，同时积极承接京津冀产业转移，培育战略性新兴产业，推动太忻经济区的进一步扩展。

5 结论与讨论

5.1 结论

从纵向演变规律来看，太忻地区城市建成区扩展呈现“快速增长、波动进阶”的核心特征，扩展速度与强度历经“先升后降再升”的阶段性演变，2020—2023年扩展速度最快，且未来仍将维持这一扩张态势。受初期跨市规划协同不足影响，区域呈现“整体分散、局部紧凑”的扩展格局，空间紧凑度演变呈“U”形曲线规律；而后期紧凑度的持续提升，印证了一体化协同发展对城市空间集约化的推动作用。通过分析太忻地区的扩展规律，揭示行政规划差异与一体化进程对区域城市扩展的双重影响机制，为破解跨行政区域城市发展过于离散的困境提供了一个可供参考的样本。

受忻州部分区域快速扩张的持续拉动，城市重心呈现稳定的东北向迁移趋势，东北（NE）、西南方向始终为核心扩展轴带，其中NE方向扩展面积最大，为51.73 km^2，同时在太忻大道等重要交通线路的建设与产业承接的联动作用下，推动区域从“离散扩张”向“轴向集聚”转型。分析揭示太忻地区交通基础设施与产业协作在跨域城市空间重构中的牵动路径，为可为区域基础设施互联互通规划、产业空间布局优化提供方向指引，助力构建“轴向集聚、协同高效”的空间一体化发展格局。

结合灰色关联分析研究发现，人口、经济、社会和政策因素都对太忻地区城市扩展具有正向的影响。人口集聚作为基础性动力，其影响作用最大；社会因素的推动作用同样显著，具体体现为区域内教育、医疗等社会基础设施建设以及交通网络的持续优化。政策因素能够有效带动社会和经济等相关因素的发展，《太忻经济一体化发展规划纲要》中明确提出“交通基础设施互联互通工程”和“公共服务一体化行动计划”，推动了太忻大道、城际客运专线等项目落地，以及跨区域教育、医疗协作体的组建，促进了社会基础设施的完善与升级。在《规划》的引领下，太忻经济区出台多项产业发展专项政策，构建和优化产业承接空间布局，有效促进区域产业集聚与能级提升。太忻经济一体化政策规划在研究时段中提出相对较晚，但对区域发展产生了重要的间接联动赋能效应，随着战略的深化落地，政策因素影响程度将会提高并逐步从辅助驱动向核心引导转变，为太忻地区城市扩展与一体化高质量发展提供核心支撑。

5.2 讨论

研究结果显示，社会因素对于太忻地区城市扩展的驱动较为显著，未来进一步注重发挥社会因素在城市发展上的推动作用，以政策为引导建设高速公路、轨道等快速交通运输线路，完善相关基础设施建设，积极带动城市用地的有序扩展。本文分析了2000—2023年整体周期中与城市扩展相关的驱动因素，研究中所提取的建成区面积由6个离散的关键年份截面数据构成，难以对具体每个时段的影响因子进行灰色分析，在未来的研究中将构建连续年度截面数据库，增强驱动机制分析的时序性；另外，缺少对地区将来城市空间格局的演化预测，后续应对该地区城市扩展进行预测和模拟分析。

参考文献

[1] 张涛，王光辉，郑利娟，等. 近30年中国城市群城市建设用地扩张遥感监测与时空变化特征分析[J]. 遥感学报，2024，28(11)：2838-2849.

[2] 刘欣，李凌峰，蔡琦. 基于夜间灯光数据的城市空间动态扩张分析——以江苏省为例[J]. 科技和产业，2024，24(17)：239-246.

[3] 刘海龙，张羽，王虎，等. 省际边界区城市空间扩展特征及驱动因素研究——以晋陕豫黄河金三角地区为例[J]. 城市问题，2021(4)：22-32.

[4] 史海金，吴文恒，李研，等. 基于夜间灯光影像数据的黄河流域中心城市建成区空间扩展及动力因子分析[J]. 中国沙漠，2021，41(6)：235-248.

[5] 潘竟虎，戴维丽. 1990—2010年中国主要城市空间形态变化特征[J]. 经济地理，2015，35(1)：44-52.

[6] 徐银凤，汪德根，沙梦雨. 双维视角下苏州城市空间形态演变及影响机理[J]. 经济地理，2019，39(4)：75-84.

[7] 唐健雄，朱媛媛，刘雨婧，等. 典型旅游城市空间形态演

变及影响因素——以张家界为例[J]. 经济地理，2022，42(1)：221-229.
[8] 肖琳，田光进. 天津城市扩展空间模式与驱动机制研究[J]. 资源科学，2014，36(7)：1327-1335.
[9] 任启龙，王利，韩增林，等. 基于城市年轮模型的城市扩展研究——以沈阳市为例[J]. 地理研究，2017，36(7)：1364-1376.
[10] 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(5)：635-639.
[11] 董鹤松，李仁杰，李建明，等. 基于DMSP-OLS与NPP-VIIRS整合数据的中国三大城市群城市空间扩展时空格局[J]. 地球信息科学学报，2020，22(5)：1161-1174.
[12] 刘婷，赵伟，张智红，等. 三峡库区重庆段城市空间扩展及形态时空演变研究[J]. 长江流域资源与环境，2017，26(9)：1342-1350.
[13] 尚正永，张小林，周晓钟. 基于RS/GIS的城市空间扩展与外部形态演变研究——以江苏省淮安市为例[J]. 经济地理，2012，32(8)：64-70.
[14] 李翅，吕斌. 城市土地集约利用的影响因素及用地模式探讨[J]. 中国国土资源经济，2007(8)：7-9.
[15] 杨荣南，张雪莲. 城市空间扩展的动力机制与模式研究[J]. 地域研究与开发，1997(2)：2-5.
[16] 王成新，窦旺胜，程钰，等. 快速城市化阶段济南城市空间扩展及驱动力研究[J]. 地理科学，2020，40(9)：1513-1521.
[17] 王绍博，罗小龙，顾宗倪，等. 精明增长背景下上海城市空间扩展演变特征与驱动机制[J]. 经济地理，2019，39(6)：58-65.
[18] 高啸峰，刘慧平，张洋华，等. 1990—2010年长三角城市群城市扩展时空规律分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版)，2016，52(5)：645-650.
[19] 陈凯，刘凯，柳林，等. 基于随机森林的元胞自动机城市扩展模拟——以佛山市为例[J]. 地理科学进展，2015，34(8)：937-946.
[20] 邓羽，司月芳. 北京市城区扩展的空间格局与影响因素[J]. 地理研究，2015，34(12)：2247-2256.
[21] 依木然孜·艾孜孜，阿里木江·卡斯木，图尔荪阿依·如孜，等. 夜光遥感数据的西部地区城市扩展时空变化[J]. 测绘科学，2022，47(8)：174-185.
[22] 贺城墙，王盼成，曾永年. 长株潭都市圈城市空间演化情景预测及其耕地影响分析[J]. 山地学报，2023，41(5)：689-700.
[23] 张佰发，苗长虹，宋雅宁，等. 一种DMSP/OLS稳定夜间灯光影像中国区域的校正方法[J]. 地球信息科学学报，2020，22(8)：1679-1691.
[24] 唐梁博，崔海山. 基于NPP-VIIRS夜间灯光数据和Landsat-8数据的城镇建筑用地提取方法改进——以广州市为例[J]. 测绘与空间地理信息，2017，40(9)：69-73.
[25] 王博帅，蒲东川，李婷婷，等. 基于多源遥感影像的长春市城市建成区提取[J]. 吉林大学学报(地球科学版)，2021，51(4)：1284-1294
[26] 赵新正，宁越敏. 中国区域城市化动力差异研究——基于灰色关联分析法的分析[J]. 城市问题，2009(12)：13-18.
[27] 刘怡，周凌云，耿纯. 京津冀产业协同发展评估：基于区位熵灰色关联度的分析[J]. 中央财经大学学报，2017(12)：119-129.
[28] 李文慧，许剑辉，孙彩歌. 基于灰色关联度的深圳市生态环境与城市扩展时空演化研究[J]. 生态环境学报，2021，30(4)：880-888.
[29] 刘嘉毅，陈玉萍. 中国城市空间扩展的时空演变特征及驱动因素[J]. 城市问题，2018(6)：20-28.
[30] 卢世俊. 乌鲁木齐城市空间扩展特征及驱动机制[J]. 武汉大学学报(信息科学版)，2022，47(7)：1025-1034.
[31] 安尼瓦尔·阿布都热依木，阿里木江·卡斯木，塔世根·加帕尔，等. 基于遥感数据的伊宁市城市扩展及其驱动力分析[J]. 干旱区地理，2018，41(1)：109-118.
[32] 王玉琳，张晓青. 山东省县级城市扩展时空演变及影响因素研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报，2023，46(2)：62-73.

Analysis of Urban Expansion Characteristics and Driving Forces in Taixin Area

HAN Wanxing，GENG Tianwei
(School of Geographic Sciences，Taiyuan Normal University，Jinzhong 030619，China)

Abstract：The Taixin Economic Zone serves as a crucial engine driving the development of urban agglomerations in Central Shanxi. Based on multi-source remote sensing data，the scope of urban built-up areas in the Taixin Economic Zone from 2000 to 2023 was extracted. The urban expansion process was analyzed using methods such as urban expansion index analysis，barycenter coordinate analysis and equal-sector analysis，and relevant driving factors were explored through grey relational analysis to reveal the characteristics and laws of its urban expansion. The results show that from 2000 to 2023，the average annual urban expansion rate in the Taixin region is 12.5 km^2，with the fastest rate recorded. Although the overall level of urban spatial compactness in the Taixin region is relatively low，it tends to develop in a more compact manner. The urban gravity center has migrated a considerable distance，showing an obvious trend of moving northeastward. Urban spatial expansion is mainly concentrated in the northeast and southwest directions，with the expansion area in the northeast reaching 51.73 km^2. Demographic，economic，social and policy factors all have positive impacts，among which demographic and social factors are the most significant.

Keywords：urban spatial expansion；temporal and spatial characteristics；Taixin area；grey relational analysis