

引文格式:任君,张福存,王琬琪,等.青藏高原少数民族聚居地区城镇用地扩展时空演变分析——以青海省海东市为例[J].测绘通报,2021(1):71-77.DOI:10.13474/j.cnki.11-2246.2021.0013.

青藏高原少数民族聚居地区城镇用地扩展时空演变分析

——以青海省海东市为例

任君^{1,2,3} 张福存⁴ 王琬琪³ 郭婧^{5,6} 周伟² 蒋玉祥⁴ 郭肖³

(1. 青海大学研究生院,青海 西宁 810016; 2. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院,北京 100083; 3. 青海大学土木工程学院,青海 西宁 810016; 4. 西宁市测绘院,青海 西宁 810010; 5. 青海省社会科学院生态环境研究所,青海 西宁 810000; 6. 中国科学院西北高原生物研究所青海省寒区恢复生态学重点实验室,青海 西宁 810008)

摘要:基于多期遥感影像数据,采用GIS空间叠加分析技术,选择扩展强度指数、紧凑度、分形维数、重心转移指数和扩展方位指数,定量分析了海东市1990—2016年间城镇用地扩展时空分异特征。研究结果表明,海东市城镇用地持续增加,扩展强度呈现先降低后升高的中速持续扩展趋势,城镇从空间无序转向空间协同发展;城镇用地紧凑度持续下降,分形维数持续增大,城镇用地不规则性增加;城镇用地重心转移呈现出“有序—无序—有序”的特征,城镇用地扩展方位分异特征明显,并表现出单翼、双翼和扇形多种扩展模式并存的特点。在海东市城镇用地扩展中,高原河谷地形为自然制约因素,园区新区的设立为主要路径,政策诱变为主要动力,重大基础设施建设为动力保障。

关键词:城镇扩展;城镇用地;遥感;时空演变;青藏高原

中图分类号:P208

文献标识码:A

文章编号:0494-0911(2021)01-0071-07

Study on spatial-temporal evaluation characteristics of urban land expansion for minority nationality regions in Qinghai-Tibet Plateau: taking Haidong city in Qinghai province as an example

REN Jun^{1,2,3} ZHANG Fucun⁴ WANG Wanqi³ GUO Jing^{5,6} ZHOU Wei² JIANG Yuxiang⁴ GUO Xiao³

(1. Graduate school of Qinghai University, Xining 810016, China; 2. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. School of Civil Engineering, Qinghai University, Xining 810016, China; 4. Xining Institute of Surveying and Mapping, Xining 810010, China; 5. Research department of Ecological Environment, Qinghai Academy of Social Sciences, Xining 810000, China; 6. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Science, Key Laboratory of restoration ecology of cold area in Qinghai Province, Xining 810008, China)

Abstract: This paper selects the expansion intensity index, compactness, fractal dimension, center of gravity transfer index and orientation proportion index using GIS spatial overlay analysis technology to analyze quantitatively the spatial-temporal differentiation of urban land expansion of Haidong city based on the remote sensing image data from 1990 to 2016. The results show that, the urban land area continuously increases, the compactness continuously declines but the fractal dimension continuously increases, the center of gravity mainly transfers to the west and southeast, and the center of gravity of urban land indicates obvious spatial characteristics and shows a tendency of “orderly-disorderly-orderly”, the urban transfers from spatial imbalance to the coordinated development. Moreover, the orientation proportion index shows obvious spatial orientation differentiation characteristics, and the urban land expansion shows coexisting characteristic of single-wing, double-wing, and fan-shaped pattern. Lastly, during the process of urban land expansion of Haidong city, the terrain of the plateau river valley is a natural constraint, the establishment of the new zone and industrial park is the main route, the policy mutation is the main driving force, and the construction of major infrastructure is the driving force guarantee.

Key words: urban land expansion; urban land; remote sensing; spatial-temporal evaluation; Qinghai-Tibet Plateau

收稿日期:2020-03-12

基金项目:青海大学中青年社科基金(2018-QSY-4);国家社会科学基金青年项目(16CJY012);青海省社科规划年度项目青年项目(20052)

作者简介:任君(1989—),男,博士生,讲师,主要从事城市扩展、土地可持续利用及国土空间规划研究。E-mail: renjun@qh.edu.cn

通信作者:周伟。E-mail: zhouw@cugb.edu.cn

城镇空间扩展是城镇化过程的重要标志,也是土地利用/覆被变化的重要研究领域之一^[1]。2001年诺贝尔经济学奖获得者约瑟夫·斯蒂格利茨就曾做过这样的判断“中国的城市化与美国的高科技将是深刻影响21世纪人类发展的两大课题”^[2]。随着全球城镇化的推进,中国的城镇化率从1949年的10.64%快速提高到2018年的59.58%。城镇化水平的快速提升必然会带动城镇空间的扩展,促使城镇向高等阶段发展,但同时也产生了诸多城市病^[3],如城镇用地蔓延、耕地非农化和生态系统服务功能降低等,尤其是城镇用地蔓延,降低了城镇用地效率,已成为新时代中国国土空间治理的重点问题。

研究城镇扩展空间特征有利于加深对城镇化本质的理解,并为规划管理者提供城镇空间内涵式发展的有效空间决策信息^[4]。国外学者对于城镇空间形态和城镇开发边界的研究相对成熟^[5-7]。国内学者主要从城镇空间扩展规模、速度、强度、方向和空间分异等方面,应用空间分析、景观格局指数和模型模拟^[8-10]等方法对城镇空间演变开展大量富有成效的研究^[11]。从研究尺度来看多为国家^[12]、城市群^[13-14]、单个城市^[15-17]或特色区域^[18-19]的宏观研究,缺乏从微观尺度对城镇用地扩展认知的研究;从研究方法来看多为单一方法的形态测度或复杂模型的模拟预测,简化或复杂化城镇空间演变的过程均不利于准确地把握城镇扩展规律。城镇是一个复杂而开放的系统,因此采用多个指标从形态和空间上研究城镇用地扩展,对于准确把握城镇空间演变规律和有效采取城镇用地管控措施具有重要意义和参考价值,进而为国家高质量发展和存量规划背景下提升国土空间治理能力提供支撑。此外,随着“一带一路”倡议的提出,位于“新丝绸之路经济带”的西北偏远少数民族地区的城镇空间发生了深刻变化,但鲜有基于区县尺度对青藏高原少数民族聚居地区城镇用地扩展演变进行综合认知的研究。

因此,本文以海东市为研究对象,基于4期遥感影像数据,采用RS专题信息提取与GIS空间叠加分析技术,选择扩展强度指数、紧凑度、分形维数、重心转移指数和扩展方位指数,定量分析海东市2区4县1990—2016年间城镇用地时空分异扩展特征,以期为海东市差异化、精细化实施国土空间管制措施提供依据和参考。

1 研究区域和数据源

1.1 研究区概况

海东市位于青海省东北部,境内地形复杂,地貌

多样,地势总体呈西高东低,海拔在1650~4635.5 m之间^[20]。湟水河穿城而过,形成“两山夹一河”的高原河谷地形。海东市现辖2区4县,如图1所示。截至2017年末,全市总人口171.2万人,城镇化率35.66%,少数民族人口占全市人口数的49.67%。海东市是青海省的第二大城市,国家“一带一路”倡议和《兰州—西宁城市群发展规划》的提出,将为海东市快速发展提供历史机遇。同时,随着国家生态文明建设和青海省“一优两高”发展战略的深入实施,海东市也将面临经济社会发展和生态环境保护的矛盾。因此,研究其城镇用地演变具有代表性。

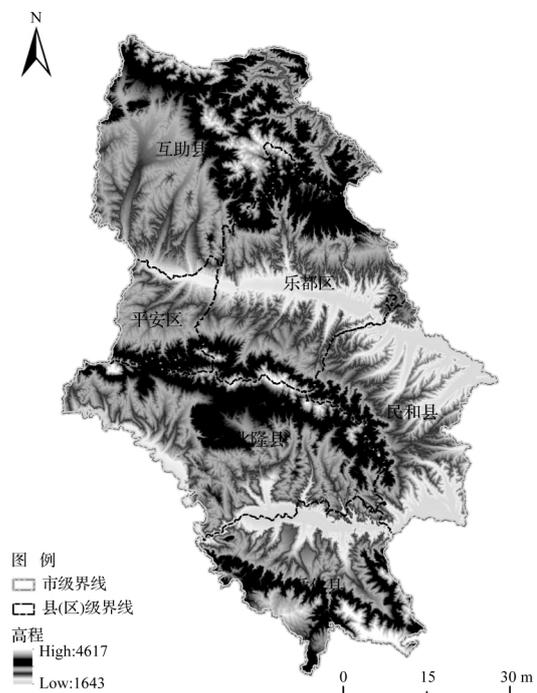


图1 研究区行政区划及高程

1.2 数据源

选取海东市1990、2000、2010和2016年4期Landsat MSS/TM/ETM遥感数据为数据源。数据源于美国地质勘探局(www.usgs.gov)和地理空间数据云(www.gsccloud.cn),分辨率为30 m×30 m,无云层覆盖,影像质量良好。基于ENVI软件和ArcGIS10.2平台,完成影像数据的波段融合、投影变换、监督分类和数据裁剪等图像预处理工作,结合研究区实际情况,获得海东市各区县4期城镇用地图斑(如图2所示)。

2 研究方法

2.1 城镇用地形态分析指标

2.1.1 扩展强度指数

城镇用地扩展强度指数(R)表示城镇空间单元

用地面积的阶段变化率,计算城镇用地扩展强度指数可研究城镇的发展速度和状态^[21]。计算公式见参考文献[21]。扩展强度指数越大,城镇用地面积的变化幅度与速度就越大。根据 R 的划分标准^[19],结合研究区实际,将其划分为5种类型:缓慢扩展, $R < 0.05$;低速扩展, $R \in [0.05, 0.10)$;中速扩展, $R \in [0.1, 0.15)$;快速扩展, $R \in [0.15, 0.20)$;高速扩展, $R \geq 0.2$ 。

2.1.2 紧凑度

紧凑度(C)是表征城镇空间单元外围轮廓形态的重要指数。紧凑度的取值范围为0~1。紧凑度值越大,表明城镇空间单元外围轮廓形态越紧凑;反之,城镇空间单元外围轮廓形态不紧凑。计算公式见参考文献[10]。

2.1.3 分形维数

分形维数(D)是刻画形体复杂结构的主要工具^[22]。分形维数已被景观生态学广泛应用于景观格局分析和城镇扩展研究,以反映城镇空间发展的阶段、状态和趋势^[21-22]。其计算公式见参考文献[22]。分形维数的理论取值范围为1~2,值越大表示城镇用地的形状越复杂。当 $D < 1.5$ 时,表明城镇用地的形状趋于简单、规则;当 $D = 1.5$ 时,表明城镇用地的形状处于布朗运动状态,稳定性差;当 $D > 1.5$ 时,表明城镇用地形状趋于复杂、不规则^[22]。

2.2 城镇用地空间转移分析指数

2.2.1 重心转移指数

重心转移指数能够直观地反映城镇空间单元在

时空上的演变轨迹,可以准确判断城镇用地重心的转移方向^[4,10,19]。计算公式见参考文献[10,19]。

2.2.2 扩展方位指数

扩展方位指数可直观地判别出城镇用地在某一空间方位上的扩展概率^[19,21]。本文采用等扇分析法将研究区划分为8个方向,即正北、西北、正西、西南、正南、东南、正东、东北^[19],并采用雷达图将其表达出来。根据雷达图将城镇用地扩展模式划分为单翼、双翼和扇形扩展3种。若城镇用地主要向某一个方向扩展则为单翼扩展;若城镇用地主要向某两个相反方向扩展则为双翼扩展;若城镇用地向多个方向连续扩展则为扇形扩展。计算公式见参考文献[19]。

3 结果分析

3.1 城镇用地形态分析

3.1.1 城镇用地面积分析

海东市城镇用地扩展具有明显的时序变化阶段性扩展特征。由表1可知,1990年海东市城镇用地面积仅为7.85 km²,到2016年末已扩展到73.10 km²,增加至9.31倍,年平均扩展速度为2.42 km²/a,海东市城镇用地在时间维上表现为快速增长态势。这主要是由于2011年青海省批准成立海东市工业园区,形成了“一区四园”的空间布局(四园为临空综合经济园、乐都工业园、民和工业园和互助绿色产业园),随着园区的设立各区县城镇用地持续增加。

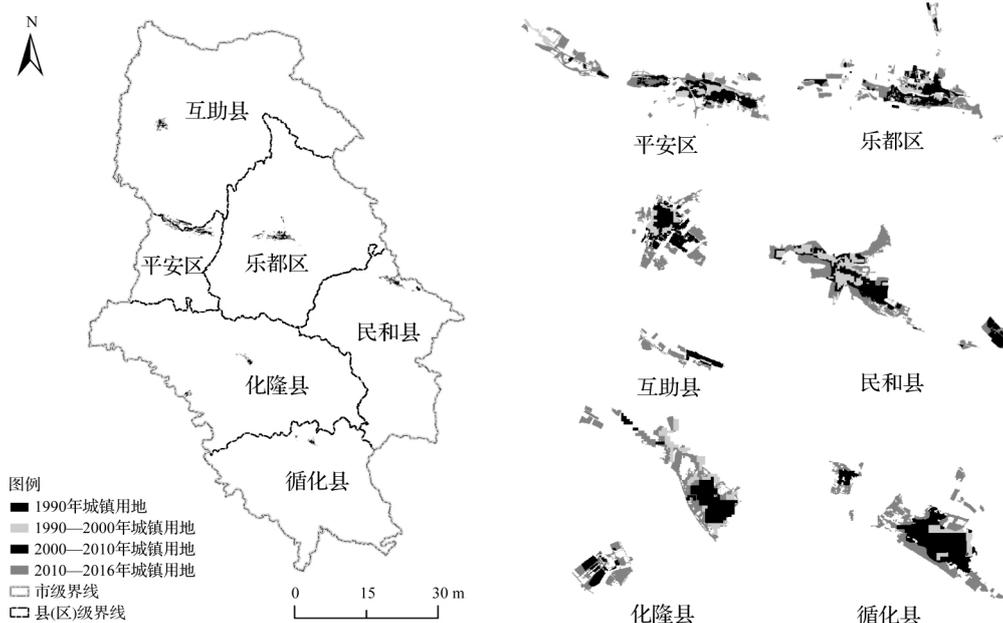


图2 1990—2016年海东市城镇用地扩展过程

表1 1990—2016年海东市2区4县城镇用地变化

行政区	1990年	2000年	2010年	2016年
平安区	1.87	4.66	8.01	15.31
乐都区	1.62	3.95	9.51	17.19
互助县	2.18	3.46	7.81	16.69
循化县	0.55	0.80	1.75	3.30
民和县	0.41	2.98	7.34	13.72
化隆县	1.22	2.12	3.28	6.90
海东市	7.85	17.97	37.71	73.10

从空间上看,2000年平安区城镇用地面积为4.66 km²,在所有区县中最大,这是由于平安区是海东地区行政公署的政府驻地,城镇空间发展有较好的政策和区位优势。乐都区城镇用地面积在2000年后超过了平安区,主要是由于海东市工业园区设立和撤销海东地区行政公署设立海东市(撤区设市),乐都区中心度增加,加速了乐都区的城镇化进程。互助县城镇用地主要分布在威远镇和西宁曹家堡国际机场周围,由于1978年前互助县是西宁市直辖区,城镇用地基数大,随着西部大开展战略实施、行政区划调整和互助绿色产业园设立,互助县城镇用地持续增加,但增速降低。民和县东与兰州市红古区接壤,2000年后,尤其是2008年兰青铁路复线改造升级完成后,民和县受兰州市吸引辐射的影响持续增加,城镇用地快速增加。化隆县是国家扶贫开发重点县,以畜牧业为主,整体来看,社会经济发展缓慢,城镇化进程较慢,城镇用地数量增幅较小,2009年后由于化隆县启动群科新区和群科“拉面特色小镇”建设,城镇用地从2010年的3.28 km²迅速增加至2016年的6.90 km²。循化县是全国唯一的撒拉族自治县,是国家扶贫开发工作重点县,也是国务院重点扶持发展的人口较少民族地区,2011年被国务院列为六盘山集中连片特困地区,循化县经济水平低,城镇用地增长速度比较缓慢,年均增速为0.1 km²/a。

3.1.2 城镇用地强度分析

由表2可知,海东市1990—2016年城镇扩展强度为0.31,为高速扩展,但城镇空间扩展强度表现出时序变化阶段性特征。1990—2016年间海东市城镇用地扩展强度先由0.13减小至0.11,后又增大至0.13,呈现出先降低后升高的持续扩展趋势。

表2 1990—2016年海东市城镇用地扩展强度变化

年份	扩展强度
1990—2000	0.13
2000—2010	0.11
2010—2016	0.13
1990—2016	0.31

从空间上看,海东市各区县城镇用地扩展具有明显的空间非均衡性。由图3(a)~(c)可知,平安区城镇用地扩展强度从0.15先减小至0.07,然后又增大至0.13,城镇用地经历了“快速—低速—中速”的扩展过程,城镇用地扩展强度相对减小;乐都区城镇用地始终为中速扩展;互助县城镇用地扩展强度从0.06持续增大至0.16,城镇用地经历了“低速—中速—快速”的扩展过程,城镇用地趋于持续增加;民和县城镇用地扩展强度从0.62持续减小至0.12,城镇用地经历了“高速—快速—中速”的扩展过程,城镇用地扩展强度相对减小;循化县城镇用地扩展强度从0.04持续增大至0.13,城镇用地经历了“缓慢—中速”的扩展过程,城镇用地趋于持续增加;化隆县城镇用地扩展强度从0.07先减小至0.05,然后又增大至0.16,城镇用地经历了“低速—快速”的扩展过程,城镇用地趋于持续增加。同时,由图3(d)可知,1990—2016年海东市各区县城镇用地扩展强度指数均大于0.15,为快、高速扩展。具体划分为两个阶段,1990—2010年间各区县城镇用地扩展强度差异明显,说明海东市各区县在此阶段的发展速度和状态呈非均衡状态;而2010—2016年间各区县城镇用地扩展强度差异明显缩小,说明海东市各区间空间相互作用增强,城镇逐渐转向协同发展。这是由于海东工业园区的设立、“一带一路”倡议的提出及精准扶贫政策的实施,使海东市各项基础设施逐步完善,尤其京藏高速、张汶高速和兰新高速铁路的建设,扩大了海东市对外开放交流,外向型经济持续发展,各区县社会经济快速发展,城镇用地持续高速增长。在此发展阶段,交通设施建设在推动海东市各区县城镇化过程中起到了基础性、先导性、保障性的重要作用。

3.1.3 城镇用地紧凑度分析

由图2可知,虽然1990—2016年间海东市城镇用地趋于蔓延式扩展,但1990—2000年间海东市城镇用地以边缘式蔓延扩展,而2000—2016年间海东市城镇用地以跳跃式蔓延扩展,这也充分说明开发区建设是中国城镇化过程中的重要模式,土地公有制为城镇用地跳跃式蔓延扩展提供了可能。1990—2016年间海东市城镇用地扩展强度先减小后增大的结果也证明了这种蔓延式扩展的差异。

由表3可知,1990—2016年间海东市各区县城镇用地紧凑度均持续减小。平安区和乐都区城镇用地紧凑度均从1990年的0.09持续减小至2016年的0.02,但1990年平安区和乐都区城镇用地紧凑度在所有区县中最低,这说明“两山夹一河”河谷型的地形条

件限制了平安区和乐都区城镇用地的空间布局。

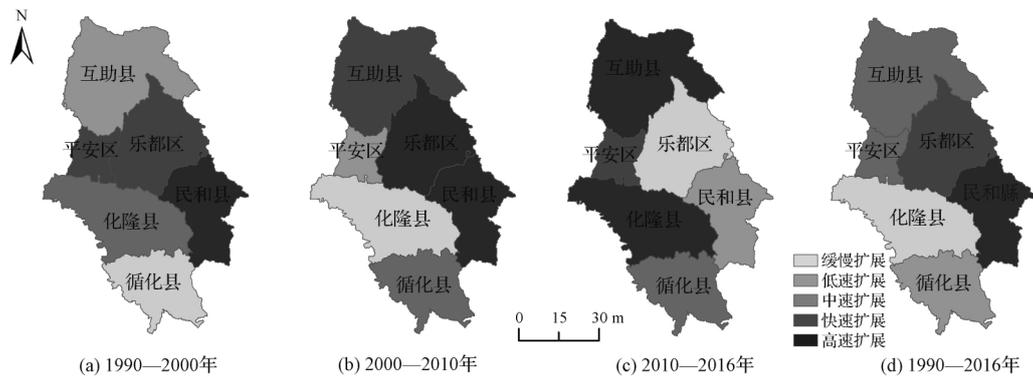


图3 1990—2016年海东市2区4县城镇用地扩展强度空间分异

表3 1990—2016年海东市2区4县城镇用地紧凑度变化

政区	1990年	2000年	2010年	2016年
平安区	0.09	0.06	0.04	0.02
乐都区	0.09	0.06	0.03	0.02
互助县	0.10	0.10	0.05	0.02
循化县	0.17	0.14	0.05	0.04
民和县	0.14	0.07	0.06	0.04
化隆县	0.15	0.07	0.06	0.03
海东市	0.05	0.03	0.02	0.01

2000年后,随着国家西部大开发战略的实施和行政区划的调整,平安区和乐都区社会经济快速发展,城镇用地布局分散,紧凑度降低。循化县城镇用地紧凑度减小幅度最大,从1990年的0.17快速减小至2016年的0.04,这是由于随着国家精准扶贫工作的开展,特色旅游、光伏扶贫、拉面经济为主的循化特色脱贫模式快速推动循化县城镇化发展,城镇用地跳跃式不规则布局,降低了城镇用地紧凑度。其余区县城镇用地紧凑度也随着社会经济的发展而持续下降。

3.1.4 城镇用地分形维数分析

由图4可知,海东市城镇用地分形维数从1990年的1.21增大至2016年的1.35,且持续增大趋于1.5,说明海东市城镇用地整体趋于无序分布状态,形态趋于复杂。从空间上看,1990—2016年间各区县分形维数都在增大,但平安区和乐都区的分形维数均高于其他区县,这主要是由于平安区曾是海东地区的政府驻地和乐都区为现海东市政府驻地,其具有优越的区位优势,社会经济发展水平和城镇化水平高,城镇用地形态复杂。另外,平安区和乐都区地处湟水谷地及其两侧山地,受“两山夹一河”高原河谷地形条件的限制,平安区和乐都区城镇用地不能像

平原型城镇圈层式扩展,只能沿着湟水河沿岸东西扩展,这就形成了平安区和乐都区狭长而跳跃式蔓延的城镇用地格局,最终导致了平安区和乐都区城镇用地分形维数的持续增大。其余区县城镇用地分形维数均随着城镇用地蔓延式的持续扩展而增大。

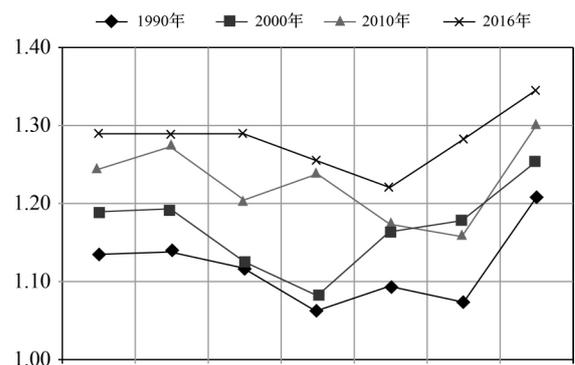


图4 1990—2016年海东市2区4县城镇用地分形维数变化

3.2 城镇用地空间转移分析

3.2.1 城镇用地重心坐标转移分析

由表4可知,1990—2010年海东市城镇用地重心主要向东北方向转移,然而2010—2016年海东市城镇用地重心主要向西南方向转移,城镇用地扩展表现出明显的非同心的扩展特征。整体来看,2010年前海东市城镇发展受兰州市的吸引辐射能力较强,城镇用地重心向东北方向转移;2010年后随着海东市社会经济的发展,尤其是兰新高高速铁路、G6京藏高速、西宁南绕城高速和平阿高速的建设,加之西宁市中心城区的辐射吸引和乐都火车站的建设,海东市城镇发展受西宁市的吸引辐射能力较强,促使其城镇建设以西南方向为主。

表4 1990—2016年海东市城镇用地重心坐标变化

年份	重心坐标		转移方向
	经度	纬度	
1990	102° 13′ 18″	36° 26′ 2″	东北
2000	102° 17′ 23″	36° 26′ 18″	东北
2010	102° 18′ 38″	36° 26′ 26″	东北
2016	102° 17′ 24″	36° 26′ 13″	西南

1990—2016年间海东市各区县城镇用地空间转移阶段性特征明显,城镇用地重心转移呈现出“有序—无序—有序”的特征。由图5(d)可知,1990—2016年间海东市平安区、乐都区、互助县、循化县和化隆县受西宁市的吸引辐射较强,城镇用地重心向西北方向转移,而民和县受兰州市的吸引辐射较强,城镇用地重心向东南方向转移。具体而言,

由图5(a)可知,1990—2000年间循化县城镇用地重心向东北方向转移外,民和县城镇用地重心向东南方向转移,其余区县城镇用地重心均向西北方向转移,各区县城镇用地重心转移呈现明显的有序性;由图5(b)可知,2000—2010年间各区县城镇用地重心转移呈布朗分布,表现出明显的无序性;由图5(c)可知,2010—2016年间随着“一带一路”倡议的提出、兰新高速铁路等重大基础设施的建设及精准扶贫政策的实施,海东市城镇化进程持续加快,平安区、乐都区、互助县和循化县城镇用地重心均向西宁市方向转移,化隆县城镇用地重心向群科新城方向转移,民和县城镇用地重心仍向兰州市方向转移,城镇用地重心转移呈现出明显的有序性,说明各区县城镇之间相互作用增强,海东市各区县协同发展。

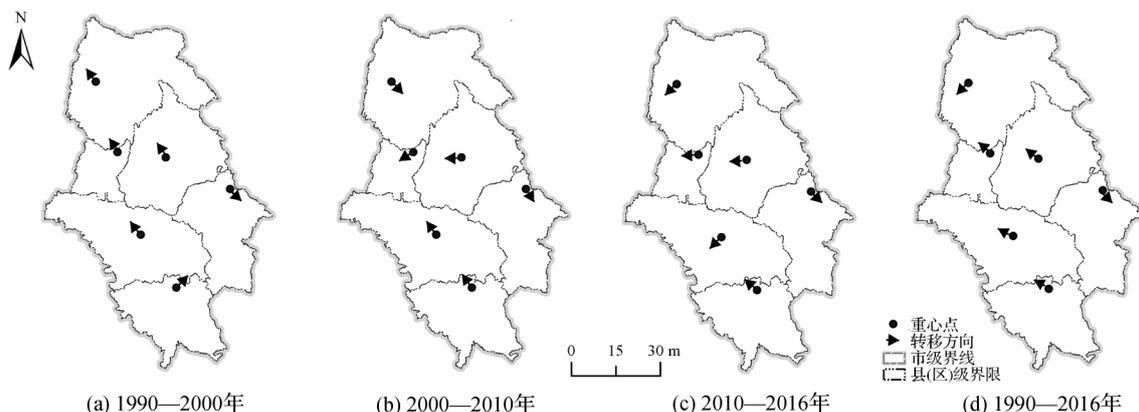


图5 海东市各区县城镇用地重心迁移方向

3.2.2 城镇用地扩展方位指数分析

1990—2016年海东市各区县城镇用地扩展表现出明显的空间方位分异特征和多模式并存的扩展特征。由图6可知,平安区城镇用地扩展模式经历了“扇形模式—双翼模式—单翼模式”的过程,城镇用地重心主要向正西方向迁移;乐都区城镇用地扩展模式经历了“扇形模式—单翼模式—双翼模式”的过程,城镇用地重心主要向正西和正东方向迁移;互助县城镇用地扩展模式经历了“单翼模式—扇形模式—单翼模式”的过程,城镇用地重心主要向西南方向迁移;循化县城镇用地扩展模式始终为扇形模式,城镇用地重心主要向正西和西北方向迁移;民和县城镇用地模式经历了“扇形模式—单翼模式”的过程,城镇用地重心主要向东南方向迁移;化隆县城镇用地扩展模式始终为扇形模式,但是城镇用地重心从西北方向转向西南方向。

4 结 语

1990以来海东市城镇用地扩张迅速,扩展强度指数呈现出先降低后升高的持续扩展趋势,紧凑度持续下降,分形维数持续增大,重心转移呈现出“有序—无序—有序”的特征。同时,各区县城镇用地表现出明显的方位分异特征和单翼、双翼及扇形多模式并存的扩展模式。在海东市城镇用地扩展中,“两山夹一河”的河谷地形为自然制约因素,园区、新区建设的主要路径,西部大开发战略、“一带一路”倡议及精准扶贫等政策诱变的主要动力,西宁曹家堡国际机场、京藏铁路及兰新高速铁路等重大基础设施建设的动力保障。此外,随着我国生态文明建设和黄河流域高质量发展战略的推进,城镇扩展对生态环境的影响、城镇空间脆弱性及城镇开发边界划定等仍是今后城镇用地研究重点关注的方向。

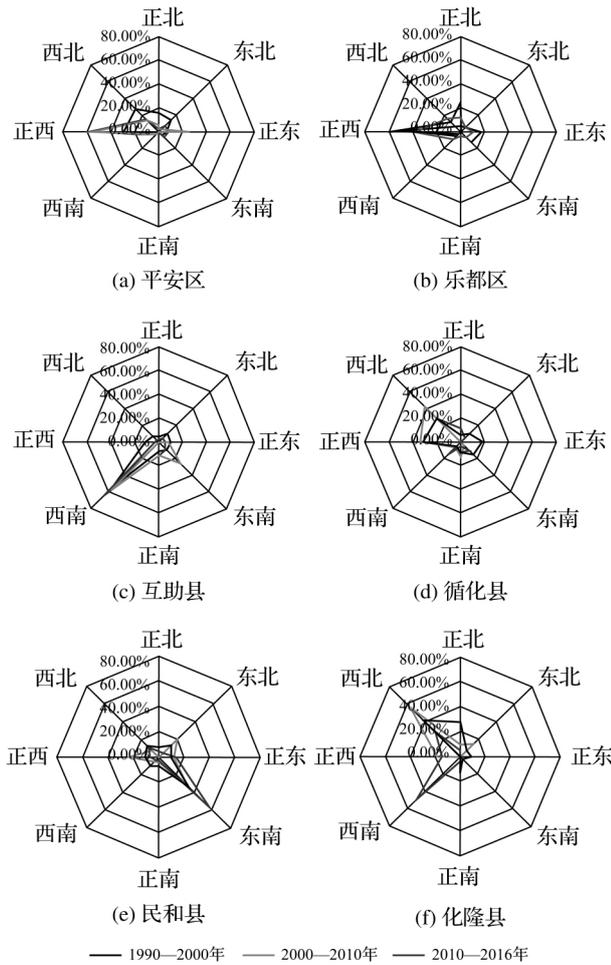


图6 海东市2区4县城镇用地方位角演变雷达

参考文献:

[1] 董廷旭,秦其明,王建华. 近30年来绵阳市城市用地扩展模式研究[J]. 地理研究, 2011, 30(4): 667-675.
 [2] 吴良镛,吴唯佳,武廷海. 论世界与中国城市化的大趋势和江苏省城市化道路[J]. 科技导报, 2003(9): 3-6.
 [3] 陆大道. 我国的城镇化进程与空间扩张[J]. 城市规划学刊, 2007(4): 47-52.
 [4] 王海军,王惠霞,邓羽,等. 武汉城市圈城镇用地扩展的时空格局与规模等级模式分异研究[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(2): 272-285.
 [5] SONDE P, BALAMWAR S, OCHAWAR R S. Urban sprawl detection and analysis using unsupervised classification of high-resolution image data of Jawaharlal Nehru Port Trust area in India [J]. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2020, 17: 100282.
 [6] GAO Z, KII M, NONOMURA A, et al. Urban expansion using remote-sensing data and a monocentric urban model [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2019, 77: 101152.

[7] LIAO J, SHAO G, WANG C, et al. Urban sprawl scenario simulations based on cellular automata and ordered weighted averaging ecological constraints [J]. Ecological Indicators, 2019, 107: 105572.
 [8] 许彦曦,陈凤,濮励杰. 城市空间扩展与城市土地利用扩展的研究进展[J]. 经济地理, 2007, 27(2): 296-301.
 [9] 孙平军,修春亮. 中国城市空间扩展研究进展[J]. 地域研究与开发, 2014, 33(4): 46-52.
 [10] 任君,刘学录,岳健鹰,等. 基于MCE-CA模型的嘉峪关市城市开发边界划定研究[J]. 干旱区地理, 2016, 39(5): 1111-1119.
 [11] 乔林凰,杨永春,向发敏,等. 1990年以来兰州市的城市空间扩展研究[J]. 人文地理, 2008, 101(3): 59-63.
 [12] 熊国平,杨东峰,于建勋. 20世纪90年代以来中国城市形态演变的基本总结[J]. 华中建筑, 2010, 28(4): 120-123.
 [13] 张津,朱文博,吴舒尧,等. 基于CLUE-S模型的京津冀城市群土地利用变化时空模拟[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2018, 54(1): 115-124.
 [14] 韩剑萍,苟思远,黄庆旭,等. 成渝城市群近40年城市规模分布演变——基于K-S检验的滚动样本回归[J]. 经济地理, 2019, 39(8): 59-67.
 [15] 李晓文,方精云,朴世龙. 上海城市用地扩展强度、模式及其空间分异特征[J]. 自然资源学报, 2003, 18(4): 412-422.
 [16] 陈本清,徐涵秋. 城市扩展及其驱动力遥感分析——以厦门市为例[J]. 经济地理, 2005, 25(1): 79-83.
 [17] 王厚军,李小玉,张祖陆,等. 1979—2006年沈阳市城市空间扩展过程分析[J]. 应用生态学报, 2008, 19(12): 2673-2679.
 [18] 何春阳,陈晋,史培军,等. 大都市区城市扩展模型——以北京城市扩展模拟为例[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 294-304.
 [19] 李骞国,石培基,魏伟. 干旱区绿洲城市扩展及驱动机制——以张掖市为例[J]. 干旱区研究, 2015, 32(3): 598-605.
 [20] 郭婧,周学斌,任君,等. 青海省湟水谷地经济发展与生态环境耦合协调度的时空分异[J]. 水土保持研究, 2018, 25(6): 242-250.
 [21] 王海军,张彬,刘耀林,等. 基于重心-GTWR模型的京津冀城市群城镇扩展格局与驱动力多维解析[J]. 地理学报, 2018, 73(6): 1076-1092.
 [22] 杨欢,刘学录. 基于分形理论的云南红河县景观斑块尺度效应[J]. 生态学杂志, 2015, 34(9): 2636-2644.

(责任编辑: 纪银晓)