

引用格式: Li Yimin, Wang Dongchi, Liu Xinzhi, *et al.* Remote Sensing Dynamic Monitoring and Driving Force Analysis of Typical Urban Expansion along the China-Myanmar Border[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2021, 36(5): 1155-1167. [李益敏, 王东驰, 刘心知, 等. 中缅边境典型城市扩张遥感动态监测及驱动力分析[J]. 遥感技术与应用, 2021, 36(5): 1155-1167.]  
DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2021.5.1155

# 中缅边境典型城市扩张遥感动态监测及驱动力分析

李益敏<sup>1,2</sup>, 王东驰<sup>1</sup>, 刘心知<sup>1</sup>, 袁 静<sup>1</sup>, 赵志芳<sup>1,2,3</sup>

(1. 云南大学 地球科学学院, 云南 昆明 650500;

2. 云南省高校国产高分卫星遥感地质工程研究中心, 云南 昆明 650500;

3. 自然资源部三江成矿作用及资源利用重点实验室, 云南 昆明 650500)

**摘要:**在“一带一路”背景下,当前针对边境城市建成区发展的研究尚不充分,特别境内外口岸毗邻城市的演化交互关系更有待挖掘。以中缅边境地区典型的口岸毗邻城市——瑞丽市和木姐市作为研究区,选取2012、2015和2018年遥感影像,采用城镇建筑用地指数提取两市建成区,从建成区扩张数量、空间分布格局和内部经济规模3个方面,分析瑞丽市开发开放试验区设立后的两市建成区动态变化特征,并对两市建成区演化的交互关系和扩张驱动因素进行探讨。结果表明:在自然环境、经济产业、政策规划、交通、口岸等因素的综合作用下,两市建成区扩张明显。瑞丽市城市西部扩张最为明显,东部次之,呈现“一体两翼”式扩张格局,逐渐从建成区外延转为内部填充及基础设施完善阶段;木姐市主要向西北和正东方向扩张,建成区保持较为明显的外延特征,但其内部土地集约利用水平不高。在交互协同发展过程中,瑞丽市占主导地位,木姐市处在依附地位。两市的快速协同扩张也体现了中缅两国政治经济的紧密交流和广阔的合作空间。

**关键词:**中缅边境地区;夜光遥感;城市建成区扩张;时空分析;驱动力

**中图分类号:** TP79; K901 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2021)05-1155-13

## 1 引言

城市是自然、社会、经济等各种因素变化活动的集合体,也是城市化发展的基础。建成区扩张作为城市化发展在空间上最为显著的特征之一,是定量评价城市化发展水平的一个重要指标<sup>[1]</sup>。在我国城市建成区飞速扩张、生态环境日益脆弱和粮食安全问题越发突出的现在,分析城市建成区扩张规律及其驱动力机制,对遏制城市的无序扩张,科学地指导城市规划、保护珍贵的土地资源有着重要意义。随着遥感技术的快速发展,在目前的城市建成区扩张研究中,大多利用 Landsat TM/OLI 影像、

DMSP/OLS 夜光数据、NPP-VIIRS 夜光数据等多元遥感影像,采用监督分类、目视解译、决策树、指数分类、神经网络等多种方法提取建成区信息,并不断优化提取方法,然后配合多种分析手段对建成区的数量特征、空间特征的演变进行研究<sup>[2-3]</sup>,已经取得了丰富的研究成果。

而在研究区的选择上,国内外学者大多关注于长江经济带城市群<sup>[4]</sup>、滇中城市群<sup>[5]</sup>、内罗毕<sup>[6]</sup>、德黑兰<sup>[7]</sup>这样的城市群以及大型区域中心城市,对偏远落后地区,特别是边境地区城市的研究仍然匮乏。现有针对边境城市的研究主要围绕:①边境城市基础理论研究<sup>[8]</sup>;②边境城市经贸、旅游、文化等功能

收稿日期:2020-06-19;修订日期:2021-08-27

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“中印边境东段和中缅边境地区遥感地质解译”(DD20190545),中国地质调查局地质调查项目“西部边境亚东—西里古里和防城港—芒街重要通道地区1:5万遥感地质数据集制作”(K20700200320)。

作者简介:李益敏(1983—),女,云南昆明人,教授,主要从事山地环境与灾害研究。E-mail: liyimin1965@163.com

通讯作者:赵志芳(1971—),女,云南香格里拉人,博士,教授,主要从事遥感地质应用研究。E-mail: zzf\_1002@163.com

研究<sup>[9]</sup>;③口岸与边境城市关系研究<sup>[10]</sup>;④边境城市发展趋势与模式研究<sup>[11]</sup>。可以看出,虽然学术界对边境城市研究的方向较多,但对其建成区的扩张过程尚未引起足够的重视,且多关注于境内城市,却少有涉及境内外口岸毗邻城市。我国有着2.2万 km 以上的陆路边境线,与缅甸、蒙古、俄罗斯等14个国家接壤,在“一带一路”倡议背景下,边境口岸城市作为漫长国境线上国内外沟通的关键节点,是带动国内,乃至国外广袤边境地区经济、社会全方位发展的引导车,而其强劲引擎就是城市的核心——建成区。所以,借助遥感技术的进步,科学分析边境典型城市建成区的扩张规律,总结境内外口岸毗邻城市的演化交互关系,助力边境地区科学发展,已显得愈发紧要。

中缅边境地区作为我国面向东南亚的重要桥头堡,以及国家“一带一路”战略的前沿窗口,受到国家对外开放政策的重点倾斜,进入21世纪后发展愈发迅猛。特别在2012年,国务院正式批准《瑞丽重点开发开放试验区建设实施方案》(简称《方案》),作为中缅边境龙头的瑞丽市成为全国首批3个重点开发开放试验区之一,迎来了开放发展的新机遇,在城市建设、人口流入、项目引进、融资贷款等各方面发生了飞跃式增长,进而对本市建成区及毗邻的木姐市建成区的扩张产生了深远的影响。因此本研究拟选择《方案》批准的2012年、“十二五”收官的2015年和自由贸易试验区设立的2018年作为研究时段,利用城镇建筑用地指数(Urban Construction Land Index, UCLI)提取城市建成区,通过空间重心转移模型、凸壳原理、夜光遥感等多种方法,对中缅边境中方瑞丽市和缅方木姐市这两座具有代表性的境内外口岸毗邻城市开展建成区动态变化特征及演化交互关系研究,并探讨扩张驱动因素,以期科学评估2012年《方案》施行后中缅边境地区城市扩张发展的情况,可为中缅边境地区城市的科学持续发展提供重要参考,促进国家“一带一路”、“孟中印缅经济走廊”等重大战略规划落地部署。

## 2 研究区概况

选取包含中国云南瑞丽市和缅甸掸邦木姐市的瑞丽江小流域(图1),位置介于 $97^{\circ}36' \sim 98^{\circ}12' \text{ E}$ 、 $23^{\circ}42' \sim 24^{\circ}11' \text{ N}$ 之间,小流域面积 $1\,437.8 \text{ km}^2$ ,其中境内 $727.29 \text{ km}^2$ ,境外 $710.51 \text{ km}^2$ 。瑞丽、木姐两

市山川相连、语言相近、习俗相通,胞波情谊源远流长。两市同处于瑞丽坝内,瑞丽江从两市间自东向西穿流而过,年均 $20.7^{\circ}\text{C}$ 的气温和 $2\,100 \text{ mm}$ 的降水孕育了两市丰富的野生动植物资源,又与缅北矿物主产地毗邻,具有得天独厚的发展优势。

瑞丽市地处中国云南省德宏州西南部,是一个以傣族、景颇族为主边境县级市,总人口21万,国境线长约 $169.8 \text{ km}$ ,距省会昆明 $896 \text{ km}$ 。瑞丽市作为我国面向缅甸的开放窗口和通往东南亚、南亚的门户,滇缅公路、史迪威公路、中缅输油管道三大通道由此出境,并拥有姐告、畹町2个国家一类口岸和2个国家边境经济合作区,引领着中缅边境地区的发展。

木姐市位于缅甸掸邦西北部,毗邻我国云南省瑞丽市,是一个以掸族为主的县级市,总人口15万,国境线长约 $99.9 \text{ km}$ ,距缅甸最大城市仰光 $1\,060 \text{ km}$ 。木姐市作为缅甸国家级口岸城市,滇缅公路与旧中印公路交汇于此,成为中缅两国最大的边境贸易口岸和缅甸最重要的陆路贸易通道,以农业、商贸、旅游为主要产业,近年来发展迅猛。

## 3 数据来源与预处理

实验使用的数据主要包括研究区 Landsat TM/OLI 遥感影像、NPP-VIIRS 夜光遥感影像、GDEM V2 DEM 数据和社会生产总值、三产占比、口岸进出口贸易额等非遥感数据,数据质量均满足研究需要。具体数据信息及预处理情况如表1所示。

## 4 研究方法

实验首先利用年均增长率和扩张动态度指数来反映城市建成区的数量变化,然后采用空间重心转移模型、凸壳理论和扩张方向分析从3个方面探究城市建成区的空间分布格局变化,最后从夜光规模变化的视角反映城市建成区内部的经济发展规划情况。

### 4.1 城市建成区分析

#### 4.1.1 城市建成区提取

归一化建筑指数(Normalized Difference Built-up Index, NDBI)是查勇等学者在杨山的植被归一化指数的基础上进行改进而得到的<sup>[12-13]</sup>。NDBI利用 Landsat OLI/TM 影像在红外和近红外波段之间大多数地类灰度值变小,建设用地信息灰度值增加的特性,实现建设用地信息的自动提取<sup>[14]</sup>,公式

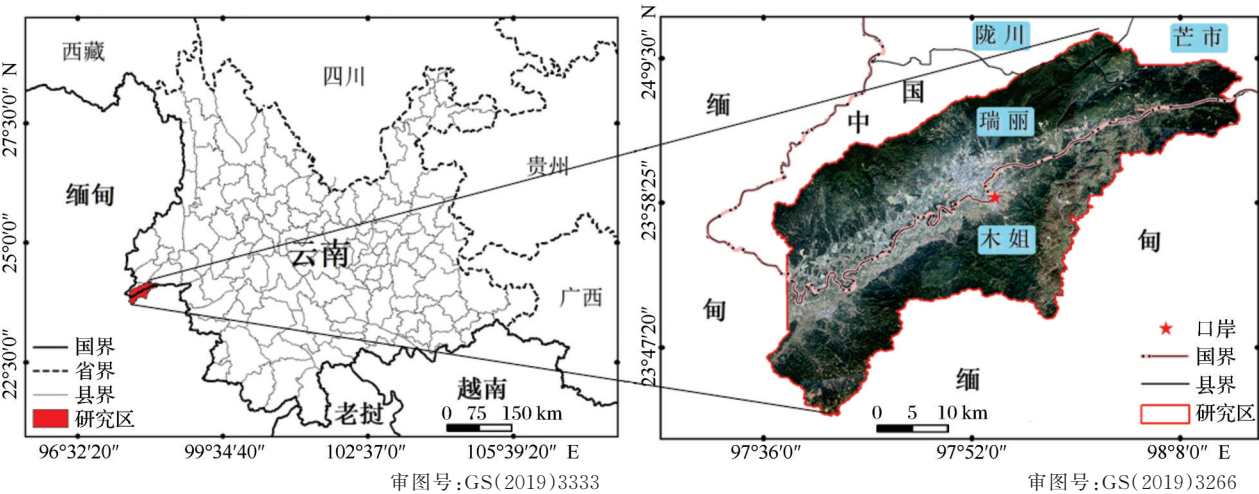


图 1 研究区位置示意图

Fig.1 Location diagram of the research area

表 1 数据信息及预处理情况

Table 1 Data information and pre-processing

数据类型	数据名称	数据信息	数据来源	预处理
遥感数据	Landsat TM 影像	时间:2018年2月、 2015年2月; 分辨率:30m; 轨道号:132/43; 云覆盖率:<1%	地理空间数据云	辐射定标和大气校正,用于提取研究区城市建成区扩张信息。
		时间:2012年4月; 分辨率:30m; 轨道号:132/43; 云覆盖率:<1%		
	Landsat OLI 影像	分辨率:30m; 轨道号:132/43; 云覆盖率:<1%		
	NPP—VIIRS 夜光影像	分辨率:500 m;相比 DMSP-OLS 夜间灯光数据,具有高清晰度和高灵敏度的优势,同时优化了灯光过饱和的问题,但也存在火光、废弃燃烧及背景噪声等短暂性干扰	美国国家海洋和大气管理局	对照谷歌影像选择水库、农田等无光处的辐射值作为最小阈值过滤噪声,同时去除非连续存在的异常象元以剔除短暂光源。并将各年份数据组合成年均夜光影像,重采样为 30 m 分辨率后,用于辅助城市建成区提取和夜光规模分析。
	GDEM V2 DEM 数据	分辨率:30m	地理空间数据云	数据拼接和统一坐标系
非遥感数据	社会生产总值 三产占比	瑞丽市	政府工作报告	
	主要道路矢量 行政区边界		国家基础地理信息中心数据库	统一坐标系
	口岸矢量	姐告-木姐口岸	目视解译	

如下：

$$NDBI = \frac{band5 - band4}{band5 + band4}$$

(1)

式(1)中 band4、band5 分别为 TM 影像的第 4、5 波段(OLI 影像的第 5、6 波段)。NDBI 结果值在 -1~1 之间,NDBI>0 的为建设用地,NDBI≤0 的为非建设用地。将 NDBI 计算结果二值化,NDBI>0 的像元赋值为 1;NDBI≤0 的像元赋值为 0。

受遥感影像同物异谱和异物同谱的影响,裸土地、稀疏植被与建设用地的光谱特征类似,加上小型城镇、村庄的存在,单纯的 NDBI 并不能很好地提取城市建成区信息<sup>[15]</sup>。因此采用唐梁博等的方法,引入归一化植被指数(NDVI)和 NPP-VIIRS 夜光影像来剔除干扰地物,提高建成区提取的准确性。NDVI 值在 -1~1 之间,对照遥感影像,以 NDVI≥0.1 为正常植被覆盖地,<0.1 的为稀疏植被和非植



被覆盖地。取0.1为阈值对NDVI提取信息进行二值化,剔除稀疏植被的干扰, $NDVI \geq 0.1$ 的单位像元赋值为1, $NDVI < 0.1$ 的赋值为0。NPP-VIIRS夜光影像中,城镇区域与裸土、植被等区域的灰度值有明显差异,对照谷歌影像测量城市建成区边缘区域灰度值后,以灰度值3为阈值进行二值化,取 $\geq 3$ 为建成区范围,赋值为1; $< 3$ 为建成区范围外区域,赋值为0。将夜光建成区范围(NL)、NDBI、NDVI共3幅二值化后的结果通过相乘运算,可得到城镇建筑用地指数(UCLI)。公式如下:

$$UCLI = NL \times NDVI \times NDBI \quad (2)$$

表2 城市建成区提取精度验证

Table 2 Validation of extraction accuracy of urban built-up areas

城市	验证方式	2012年		2015年		2018年	
		正确个数 (重叠面积/hm <sup>2</sup> )	精度/%	正确个数 (重叠面积/hm <sup>2</sup> )	精度/%	正确个数 (重叠面积/hm <sup>2</sup> )	精度/%
瑞丽市	验证点	87	87.00	83	83.00	82	82.00
	VI	1 972.33	92.34	3 399.74	88.01	4 586.37	89.71
木姐市	验证点	92	92.00	86	86.00	87	87.00
	VI	985.31	94.63	1 509.25	91.33	2 085.95	91.71

#### 4.1.2 城市建成区扩张数量分析

(1)扩张速度分析。选用年均增长率,通过城市建成区各阶段的面积变化来体现建成区在数量上的演变情况,了解其扩张演变的总体趋势,公式如下:

$$L = \frac{S_b - S_a}{T} \quad (3)$$

其中: $L$ 为城市年平均扩张速度, $S_a$ 、 $S_b$ 为研究基期和末期的城市建成区面积, $T$ 为研究时段。

(2)扩张动态度分析。扩张动态度是计算城市建成区扩张相对自身的动态变化率,体现出城市扩张的相对速度,公式如下:

$$R = \frac{S_b - S_a}{S_a \times T} \times 100\% \quad (4)$$

其中: $R$ 为建成区扩张动态度。结合众多学者研究,依据扩张动态度指数的高低将建成区扩张分为5种类型:高速扩张( $> 25\%$ )、快速扩张( $25\% \geq K > 20\%$ )、中速扩张( $20\% \geq K > 15\%$ )、低速扩张( $15\% \geq K > 10\%$ )和缓慢扩张( $10\% \geq K$ )。

#### 4.1.3 城市建成区空间分布格局变化分析

(1)空间重心转移分析。空间重心转移模型是分析城市建成区扩张过程中城市空间分布演变的重要方法。计算不同时期城市建成区的空间重心

UCLI值为0是非建成区用地,值为1是建成区用地。利用UCLI提取出城市不同时期的建成区范围,然后按照得到的范围勾画出连续的建成区边界。为保持城市实体空间结构上的连续性,实验将城市内部水体和绿地一并划入建成区内。

在提取出瑞丽市、木姐市2012、2015和2018年的建成区后,结合实地调查并对照Google Earth高分辨率影像,一方面选取100个验证点,另一方面对照目视矢量化解译VI(Vectorization Interpretation)结果,从两方面对UCLI提取结果进行精度验证,两市精度评价结果见表2,验证结果满足研究精度要求。

位置的公式如下:

$$\bar{x}_t = \frac{\sum_{i=1}^n (A_{ti} \times X_i)}{\sum_{i=1}^n A_{ti}} \quad \bar{y}_t = \frac{\sum_{i=1}^n (A_{ti} \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n A_{ti}} \quad (5)$$

城市建成区空间重心转移距离的计算公式如下:

$$D = \sqrt{(\bar{x}_{t+1} - \bar{x}_t)^2 + (\bar{y}_{t+1} - \bar{y}_t)^2} \quad (6)$$

其中: $(\bar{x}_t, \bar{y}_t)$ 、 $(\bar{x}_{t+1}, \bar{y}_{t+1})$ 分别表示 $t$ 和 $t+1$ 时期城市建成区空间重心坐标; $X_i$ 表示城市建成区第 $i$ 个地理单元的横坐标, $Y_i$ 表示城市建成区第 $i$ 个地理单元的纵坐标; $A_{ti}$ 表示 $t$ 时期城市建成区第 $i$ 个地理单元的面积; $D$ 表示从 $t$ 到 $t+1$ 期间城市空间重心的转移距离。

(2)扩张类型分析。王新生等学者提出的凸壳原理<sup>[16]</sup>,可直观定量地描述出城市建成区的扩展类型。凸壳原理需要构造出包含全部城市建成区的最小凸多边形,多边形内部即城市的潜在控制区域。然后分别计算出城市建成区扩张部分中处在凸壳内部和外部的面积,若凸壳内部的扩张面积大于凸壳外部的扩张面积,则该城市的建成区扩张类型为填充型,反之为外延型。

(3)扩张方向分析。采用象限分析的方法,将3个时期的城市建成区矢量进行叠加,以2018年的城

市建成区空间重心为象限圆中心,依照4个象限8个方向将城市建成区划分为北(N)、东北(NE)、东(E)、东南(SE)、南(S)、西南(SW)、西(W)、西北(NW)8个方向,分别计算各方位的建成区面积变化。

#### 4.2 城市建成区内部经济规模变化分析

夜光遥感影像主要包含了两个属性,即夜光分布面积大小与夜光亮度的高低,如果夜光面积越大、像元亮度值越高,则说明区域整体经济发展水平越高<sup>[17]</sup>。所以夜间灯光强度可以在一定程度体现人类活动的强弱,夜光规模也与GDP、人口数量等传统的城市发展规模评价指标有显著的相关性<sup>[18-19]</sup>。实验利用夜光分析来评价城市建成区内部的经济水平,选择的评价指标包括夜光强度和夜光均值。

夜光强度( $T$ )是指城市建成区范围内所有像元( $x_i$ )DN值的总和,可直观反映出建成区范围内人类社会活动的强弱变化。其计算公式如下:

$$T = \sum_{i=1}^n x_i \quad (7)$$

其中: $x_i$ 为第*i*个像元的DN值, $n$ 为区域内象元总数。

夜光均值( $M$ )是城市建成区范围内所有像元( $x_i$ )的平均DN值,体现了社会经济活动强度的平均水平,可以避免单纯以建成区面积大小评判城市发展水平的局限,其计算方法如下:

$$M = \frac{T}{n} \quad (8)$$

## 5 结果与分析

### 5.1 2012~2018年城市建成区扩张数量变化分析

借助ArcGIS10.2对瑞丽市、木姐市3期建成区信息进行空间统计分析,得到建成区扩张数量变化情况(表3、表4)和建成区扩张过程图(图2)。可以看出,2012~2018年两市扩张均十分明显。瑞丽市建成区面积以年均496.08 hm<sup>2</sup>/a的速度共增加了2 976.50 hm<sup>2</sup>;木姐市建成区面积以年均205.55 hm<sup>2</sup>/a的速度共增加了1 233.29 hm<sup>2</sup>。

瑞丽市建成区面积在研究期内一直远大于木姐市,基本是木姐市的1倍以上。2012~2018年期间,两市建成区面积都在持续增加。对比发现,瑞丽市在2012~2015年期间建成区扩张较快,到2015~2018年则有所放缓,而木姐市在2012~2015年和2015~2018年两个时段的建成区扩张速度基

本保持一致。

表3 瑞丽市、木姐市3期建成区面积

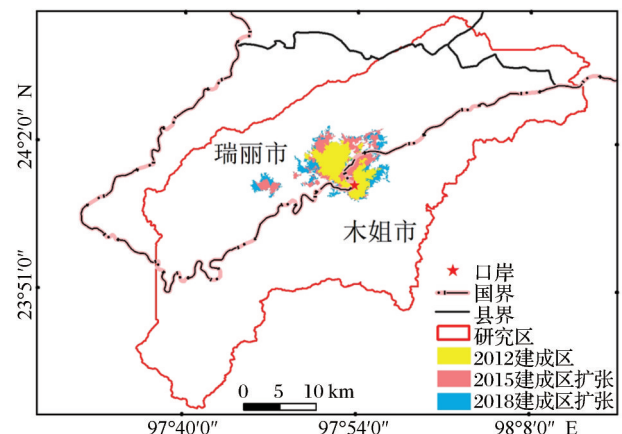
Table 3 Urban built-up areas of Ruili and Muse in 3 times

城市	2012年	2015年	2018年
	建成区面积/hm <sup>2</sup>	建成区面积/hm <sup>2</sup>	建成区面积/hm <sup>2</sup>
瑞丽	2 135.94	3 976.52	5 112.44
木姐	1 041.22	1 652.52	2 274.51

表4 瑞丽市、木姐市3期建成区扩张速度

Table 4 Urban built-up areas expansion rate of Ruili and Muse in 3 times

	年份段	2012~2015年	2015~2018年
	建成区面积总增量(hm <sup>2</sup> )	建成区面积总增量(hm <sup>2</sup> )	建成区面积总增量(hm <sup>2</sup> )
瑞丽市	建成区面积总增量(hm <sup>2</sup> )	1 840.58	1 135.92
	建成区扩张速度(hm <sup>2</sup> /a)	613.53	378.64
木姐市	建成区面积总增量(hm <sup>2</sup> )	611.30	621.99
	建成区扩张速度(hm <sup>2</sup> /a)	203.77	207.33



审图号:GS(2019)3266

图2 2012~2018年瑞丽市、木姐市建成区扩张过程

Fig.2 Urban built-up area expansion process map of Ruili and Muse in 2012~2018

计算瑞丽市、木姐市建成区的扩张动态度(表5)后发现,瑞丽市建成区在2012~2015年为高速扩张,2015~2018年迅速降为慢速扩张,在整个研究期内总体处于快速扩张阶段;木姐市则从2012~2015年的中速扩张降为2015~2018年的低速扩张,整体处于中速扩张。

综上所述,2012~2015年期间,瑞丽市建成区扩张速度较快,但2015年后扩张速度明显趋缓,速度和规模下降均较为明显,说明2012~2015年建成区土地外扩是瑞丽市的主要发展趋势,2015年后的发展重点则转变为对之前新扩张城区内部的建设完善。木姐市在2012~2015年的城市发展速度和规模虽然均明显弱于瑞丽市,但是2015~2018年的扩张面积较上一时期保持稳定,从而在扩张的相对

表 5 瑞丽市、木姐市建成区扩张动态指数

Table 5 Urban built-up areas expansion dynamic index of Ruili and Muse

年份段		2012~2015年	2015~2018年	2012~2018年
瑞丽市	建成区扩张动态度	28.72%	9.52%	23.23%
	建成区扩张类别	高速扩张	慢速扩张	快速扩张
木姐市	建成区扩张动态度	19.57%	12.55%	19.74%
	建成区扩张类别	中速扩张	低速扩张	中速扩张

速度上超越了瑞丽市。

5.2 2012~2018年城市建成区空间分布格局变化分析

5.2.1 城市建成区空间重心变化特征

利用空间重心转移模型分别计算瑞丽市、木姐市 2012、2015 和 2018 年的建成区空间重心(表 6、图 3)。

表 6 瑞丽市、木姐市 3 期建成区空间重心位置

Table 6 The location of the spatial center of gravity of urban built-up areas of Ruili and Muse in 3 times

城市	年份	经度	纬度
瑞丽	2012	97°52'8.90"	24°0'34.71"
	2015	97°51'48.18"	24°0'39.71"
	2018	97°51'34.06"	24°0'36.87"
木姐	2012	97°54'22.59"	23°59'10.21"
	2015	97°54'18.63"	23°59'32.77"
	2018	97°54'28.24"	23°59'30.48"

瑞丽市城市空间重心在 6 年中一直呈现向西移动的趋势。2012~2015 年,由于瑞丽市西部的环山工业园和新城区相继开工,造成这一时段内城市空间重心向西北移动了 605.58 m;2015~2018 年,因为新的城市框架已在上一时期初具规模,所以这一时期建成区的扩张主要围绕在上一时期新建设的建成区周围,城市空间重心继续向西南移动了

408.70 m,木姐市城市空间重心向北移动明显。2012~2015 年,扩建的建成区主要位于原建成区的北部,城市空间重心向西北移动了 703.36 m。2015~2018 年,由于木姐市建成区在上一时期已向北扩张至瑞丽江边,无法继续北扩,所以这一时期建成区转向东部扩张,城市空间重心由此向东南移动了 280.72 m。

5.2.2 城市建成区空间扩张类型变化特征

依据凸壳原理,构造包含 2012 年和 2015 年瑞丽市和木姐市建成区的凸壳,分别计算 2012~2015 年和 2015~2018 年凸壳内部和外部增加的面积,统计凸壳内外部各自占扩张总面积的百分比,根据百分比大小来判断两市建成区的空间扩张类型(表 7)。同时,制作出两市 2012~2015 年和 2015~2018 年建成区空间扩张类型图(图 4)。

结合表 7 和图 4 可以发现,2012~2015 年瑞丽市建成区在凸壳内部的填充部分占扩张总面积的 35.60%;凸壳外部的的外延部分占 64.4%,所以这一阶段为外延型扩张。到 2015~2018 年,其建成区扩张区域在凸壳填充和外延部分的面积分别为 1 013.50 hm<sup>2</sup>和 236.99 hm<sup>2</sup>,填充面积占比较大,变为填充型扩张。

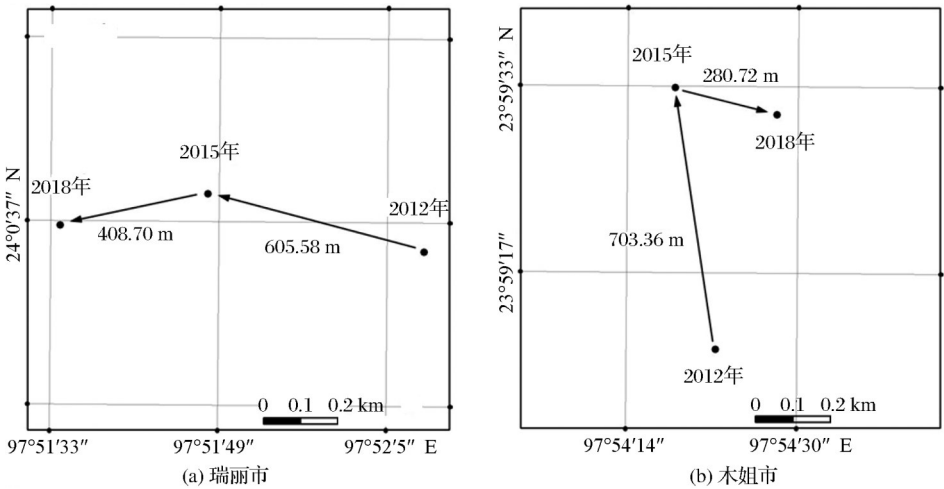


图 3 瑞丽市、木姐市空间重心位置变化

Fig.3 Changes in the location of the spatial center of gravity in Ruili and Muse

表 7 瑞丽市、木姐市城市空间扩张类型表

Table 7 Type of urban spatial expansion in Ruili and Muse

	年份段	总扩张面积/hm <sup>2</sup>	凸壳内扩张面积/hm <sup>2</sup>	凸壳外扩张面积/hm <sup>2</sup>	扩张类型
瑞丽	2012~2015	1 871.99	666.34	1 205.65	外延型
	2015~2018	1 250.49	1 013.50	236.99	填充型
木姐	2012~2015	625.48	222.76	402.76	外延型
	2015~2018	637.77	362.88	274.89	填充型

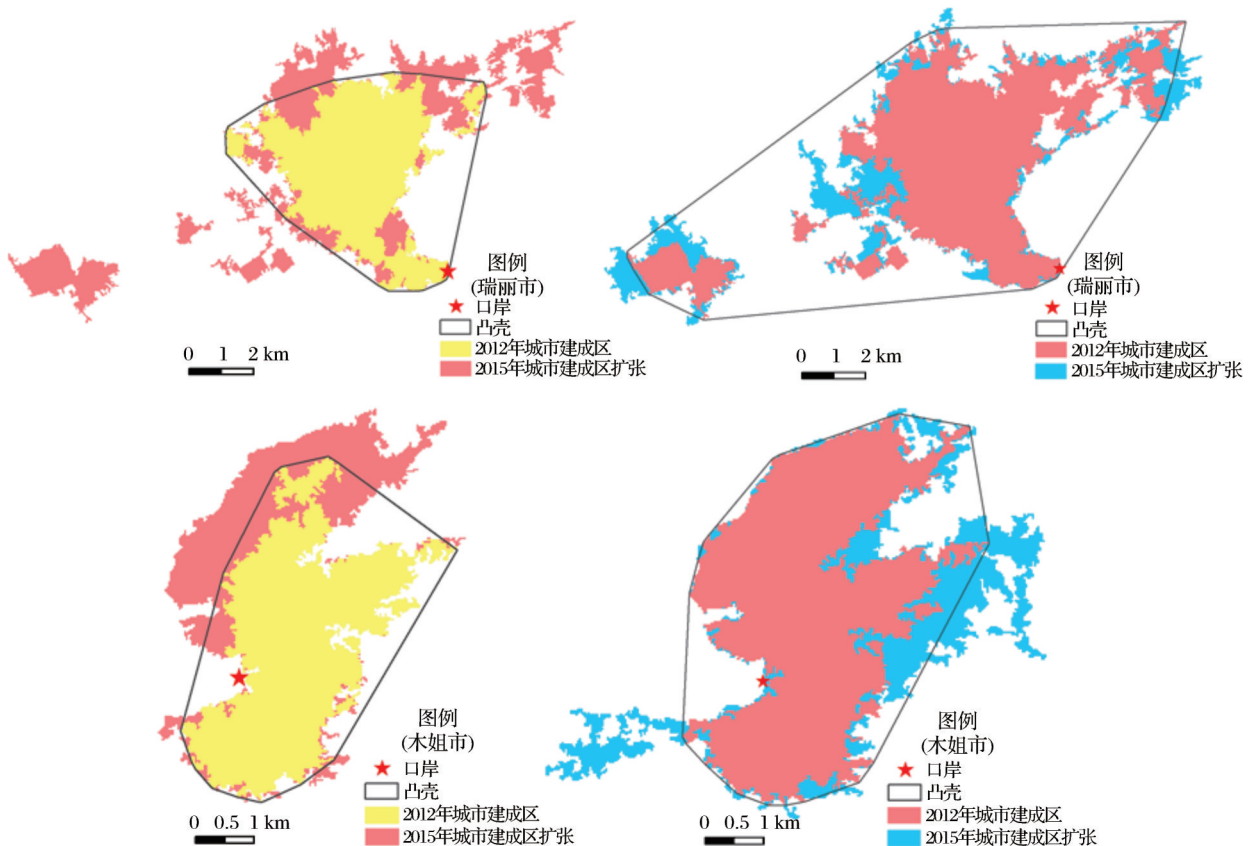


图 4 瑞丽市、木姐市城市空间扩张类型图

审图号:GS(2019)3266

Fig.4 Type of urban spatial expansion in Ruili and Muse

2012~2015年木姐市建成区在凸壳内部填充部分占扩张总面积的35.61%;凸壳外部外延部分占64.39%,所以这一阶段为外延型扩张。至2015~2018年,其建成区凸壳内部的填充部分占全部扩张区域的56.90%,外延部分则占全部扩张区域的43.08%,虽然变为填充型扩张,但外延占比依然较高。

### 5.2.3 城市建成区空间扩张方向变化特征

利用象限分析方法,计算瑞丽市和木姐市不同时期不同方向的建成区扩张面积,并做出扩张方位雷达图(图5)。

由图5可以看出,瑞丽市正南和东南方向的建成区扩张缓慢,6 a间的面积增幅均不到35%。作为瑞丽市老城区所在地,加上受国界和瑞丽江限

制,建成区在这两个方向已趋近饱和。而瑞丽市建成区在东北和正西方向的扩张最为活跃,两个方向分别为2012~2015年和2015~2018年扩张最快的地区。瑞丽环山工业园的开工和新城区的规划极大带动了建成区正西方向的拓展,瑞丽火车站的建设以及物流板块的完善也为建成区东北方向的发展提供了强劲动力,最终拓展了瑞丽市新的城市框架,形成了2012年以后“一体两翼”的建成区拓展格局。

正北是木姐市建成区规模最大的方向,该方向在3个时相中均是面积最大的方向,且在2012~2018年期间的扩张速度最快,共增长了307.76 hm<sup>2</sup>。与此同时,正东和东北两个方向的扩张也较为明显。相比之下,东南和正南两个方向的扩张最小,



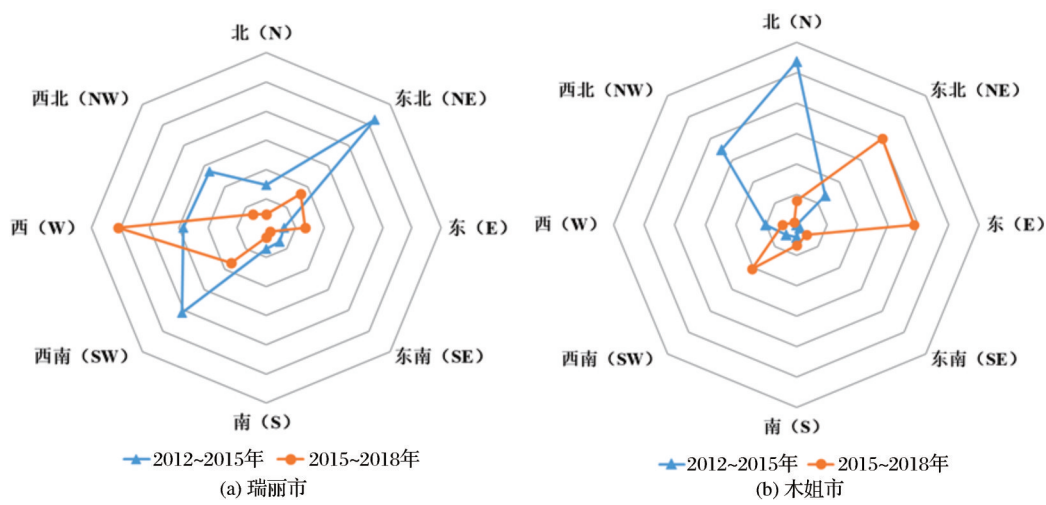


图5 瑞丽市、木姐市建成区各方向扩张面积贡献率

Fig.5 Contribution to the expansion of area in all directions in the urban built-up areas of Ruili and Muse

面积增幅均小于50%。木姐市建成区呈现这样的扩张方向趋势主要是由于其在原建成区的北界与瑞丽江之间的平坦区域进行了大范围城市扩张,开辟了新的城市区域用于边境经济合作区建设,并在东部区域规划了新的居民区。而建成区南部受到山区阻隔,已难以进行大规模的城市开发。

5.3 2012~2018年城市建成区内部经济规模变化分析

夜光是人类社会活动的综合体现,已有的研究

结果表明,夜光分布状况与社会经济发展程度呈正相关关系,通过对瑞丽、木姐两市建成区范围夜光变化的分析,探究两市建成区内部经济发展规模的变化情况。研究区夜光遥感影像经过预处理后(图6),在 ArcGIS10.2 平台下,进行亮像元提取。提取属性包括亮像元数量与亮像元亮度。再利用公式(7)与(8)构建两市建成区的夜光强度与夜光均值(表8)。

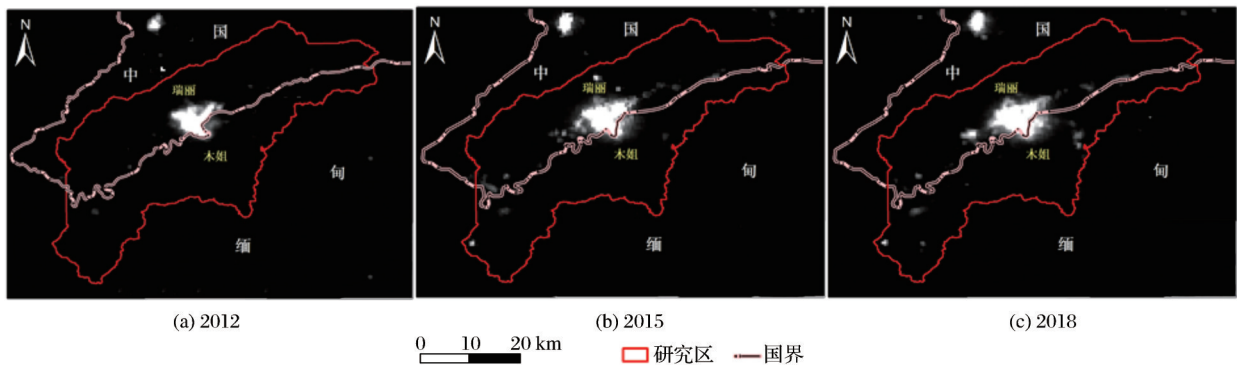


图6 研究区3期夜光遥感影像

审图号:GS(2019)3266

Fig.6 Remote sensing of nighttime light of the study area in 3 times

表8 瑞丽市、木姐市3期夜光指数统计

Table 8 Nighttime light index statistics of Ruili and Muse in 3 times

年份	瑞丽市		木姐市	
	夜光强度 指数	夜光均值 指数	夜光强度 指数	夜光均值 指数
2012年	4 733.18	16.72	538.24	5.79
2015年	5 418.96	15.01	870.14	6.85
2018年	6 185.03	16.84	1 067.11	6.39

结果表明,在瑞丽市夜光影像中,建成区东西两个方向的亮象元有明显延伸,夜光总量在2012~

2018年保持匀速增长,6年间增长了30.67%;夜光均值在2012~2015年有所下降,2015~2018年又有所增长,6年间总共增长了0.72%。结合上文瑞丽市建成区扩张面积和形态分析结果,可以看出以上变化是由于2012~2015年间大面积开拓工业园、经济合作区等新的建成区,但内部配套基础设施未能跟上,导致城市内部社会经济活动不够活跃,夜晚灯光不够明亮。到2015~2018年,虽然瑞丽市建成区面积增长速度降低,但上一时期扩张的建成区内部的各类设施逐渐完备,城市经济愈发活跃,使夜



晚灯光有明显增强。

木姐市的夜光总量在2012~2018年一直保持快速增长势头,6 a间共增长了98.26%。夜光均值呈现先升后降的变化,6 a间共增长了10.36%。木姐市建成区的夜光呈现这样的变化,与其较快的扩张有着密切关系,特别在2012~2015年期间建成区以北的经济开发区建设迅速,引领全市社会经济活动不断增强。但到2015年后,建成区东部扩建的大片低矮民房的灯光强度较弱,使得城市总体夜光均值又有所下降。

对比两市,瑞丽市建成区的夜光强度和夜光均值均远大于木姐市,说明瑞丽市的经济社会发展水平更高,城市功能集中,而木姐市建成区内部的土地集约利用程度不高,城市功能较为分散,仍有较大发展潜力。从6 a间的增长来看,两市的夜光强度和夜光均值总体上均有所增加,但木姐市的增长幅度和速度都快于瑞丽市。这不仅是因为木姐市经济发展和城市建设的加快,也与其夜光指数基数远小于瑞丽市有关。

#### 5.4 瑞丽市、木姐市建成区演化的交互关系分析

瑞丽、木姐两座城市隔江相望,既受国界阻隔,又通过姐告—木姐口岸频繁交流,形成了独特的交互关系。根据城市空间关系理论,瑞丽市和木姐市的建成区在产业结构上互为补充、交通设施上互通共享、经济发展上相互依赖且分工明确。满足紧邻、空间距离在一定范围内、经济规模存在巨大差异这3个条件,是一种“一强一弱”的合作依附关系。根据上文对两座城市建成区的扩张面积、分布格局变化和夜光变化的分析,瑞丽市建成区在面积、扩张速度、夜光规模上均远超木姐市,说明瑞丽市在城市基础、发展速度、经济规模与活跃程度上相比木姐市有着巨大优势,在两座城市中处于主导地位,而木姐市受到中缅两国巨大国力差距和自身较差基础的限制,在两座城市中处于依附地位。

2012~2018年,在瑞丽重点开发开放试验区的框架下,两市合作建设瑞丽—木姐边境经济合作区,成为连接两市建成区发展的重要纽带。从2012年以后两市各自建成区演变情况来看,瑞丽市作为主导城市,建成区在原主城区有序扩张的基础上,大量向城市东西两侧外扩,城市重心持续向西偏移,并逐渐远离木姐方向,在2015年已基本构成新的城市骨架,体现了瑞丽强烈的自主发展意识;木姐市作为依附城市,建成区扩张主要选取在靠近瑞

丽市的沿江地区,并迅速铺满附近区域,便于两市互通有无,体现出木姐市建成区演化明显受到瑞丽开放发展政策的影响。

## 6 城市建成区扩张驱动力分析

### 6.1 自然环境条件对城市建成区扩张的影响

地形位指数组合了高程与坡度地形因子,可以准确地表现区域地形的综合变化,以反映自然环境条件对城市建成区扩张的影响。其计算公式如下:

$$T = \lg \left[ \left( \frac{E}{\bar{E}} + 1 \right) \left( \frac{S}{\bar{S}} + 1 \right) \right] \quad (9)$$

其中: $T$ 为地形位指数; $E$ 和 $\bar{E}$ 分别代表任意一点的高程值和所在区域的平均高程值; $S$ 和 $\bar{S}$ 分别代表任意一点的坡度值和所在区域的平均坡度值。高程越高、坡度越大,对应的地形位指数就越大,反之则越小;高程较高但坡度较小或高程较小但坡度较高,地形位指数则接近中间值。将2018年瑞丽市、木姐市建成区与研究区地形位图层叠加,展示两市建成区与研究区地形的关系(图7)。按照自然间断点分级法,将研究区地形位(0.23~1.15)分为5级,等级越高代表地形位越高,即坡度和高程越高,再分别统计2012~2018年两市建成区在地形位等级上的分布情况,得到表9。

根据图7和表9可以发现,瑞丽市与木姐市同处在瑞丽坝内,两市约90%的建成区分布于1~2级的低地形位区域,土地资源充足,地势平坦开阔,利于建成区的扩张发展。但受瑞丽坝东西长南北窄的山川地貌阻隔,以及瑞丽江和两国国界的制约,限制了两市的城市形态和扩张方向,建成区在2~4级的中地形位区域的占比逐渐升高,只能向东西两

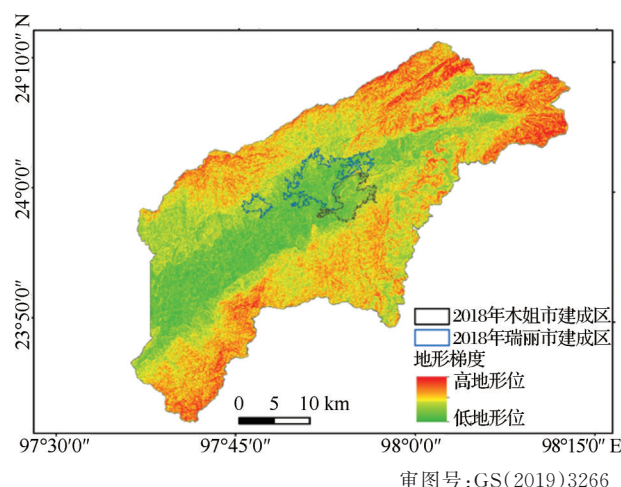


图7 瑞丽市、木姐市建成区与地形的关系

Fig.7 Relationship between urban built-up areas and terrain in Ruili and Muse

表 9 瑞丽市、木姐市建成区在地形位等级上的分布(单位:hm<sup>2</sup>)

年份		瑞丽市					木姐市				
		1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
2012 年	面积/hm <sup>2</sup>	1 510.47	578.45	45.57	1.45	0.00	614.85	372.36	52.77	1.24	0.00
	占比/%	70.72	27.08	2.13	0.07	0.00	59.05	35.76	5.07	0.12	0.00
2015 年	面积/hm <sup>2</sup>	2 435.44	1 277.91	240.14	22.15	0.88	940.05	584.14	121.37	6.96	0.00
	占比/%	61.24	32.14	6.04	0.56	0.02	56.89	35.35	7.34	0.42	0.00
2018 年	面积/hm <sup>2</sup>	2 993.36	1 706.77	371.57	39.37	1.37	1 192.51	842.85	221.50	17.65	0.00
	占比/%	58.55	33.38	7.27	0.77	0.03	52.43	37.06	9.74	0.77	0.00

侧发展。对比两市,瑞丽市位于低地形位的建成区占比更高,表明其自然空间更为开阔。

6.2 经济产业发展对城市建成区扩张的带动

经济发展程度决定着城市化水平,是城市扩张的主要决定因素<sup>[20]</sup>。2012~2018 年瑞丽市主要经济指标保持高速增长,全市社会生产总值从 39.6 亿元增长到 107.4 亿元,第一产业逐渐向二三产业转变,三产比例从 18.6:21.0:60.4 转变为 9.9:22.0:68.1。木姐市经济基础较弱,以农业生产为主,但与瑞丽市联系密切,其发展受瑞丽市发展的带动,经贸、加工业发展迅速。两市工业和服务业在国民经济中的比重提高,对基础设施、工业厂房的需求增长,推动着城市用地的发展扩张。

6.3 政策和规划对城市建成区扩张的推动

2012 年《瑞丽重点开发开放试验区建设实施方案》获批,之后昆瑞对外开放经济带、中缅“人字形”经济走廊等重大发展构想相继提出,推动瑞丽市飞速发展。2012 年后,瑞丽市依托试验区优势,重点规划建设包括边境经济合作区在内的 6 大功能区和“一基地两片区”的瑞丽工业园,并推动瑞丽姐告同城化,其中有多功能布局在瑞丽市建成区范围(图 8),使建成区在填充姐告区域之后逐渐向东西两侧不断延伸。木姐市作为缅甸的国家级口岸城市,受到缅甸中央政府的重视,在与瑞丽市共同建设跨境经济合作区的过程中,积极设立木姐分区,受惠于中国的政策红利和基建援助,推动了木姐市建成区的快速扩张。

6.4 交通等基础设施建设对城市建成区扩张的影响

瑞丽木姐一带作为面向南亚东南亚的重要陆路大通道,城市的发展与交通线路有着密切关系。瑞丽市面向内陆有 320 国道通达,并在 2012 年后相继建成杭瑞高速和瑞陇高速,城市内部依托瑞丽大道、人民路和 234 省道组成了完整的框架。瑞丽市依托多层次交通网,布局各大功能区,延高速、国

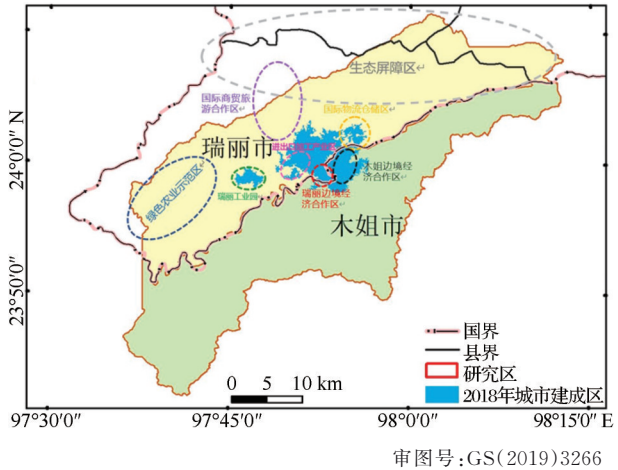


图 8 瑞丽国家重点开发开放试验区功能分区  
Fig.8 Functional zoning map of Ruili national key experimental zone for development and opening-up

道、省道进行了较大规模的开发建设;木姐城市道路建设较为落后,全市以史迪威公路为主干道路,建成区在 2012 年后主要延该条公路向东北扩张。

通过分析瑞丽市、木姐市城市建成区扩张与主干道路(高速、国道、省道)的距离关系(表 10),发现主干公路 1 km 距离内的建成区扩张面积普遍最大。距离主干道路越近,建成区扩张面积越多,越密集,表明城市发展与交通线路之间存在密切的牵引关系。

表 10 瑞丽市、木姐市建成区与主干公路的距离关系  
Table 10 Distance relationship between urban built-up areas and trunk roads in Ruili and Muse

城市	距离 /km	2012~2015 年 扩张面积/hm <sup>2</sup>	2015~2018 年 扩张面积/hm <sup>2</sup>
瑞丽市	0~1	1 044.55	427.54
	1~2	486.65	389.23
	2~3	205.30	217.92
	3 以上	104.08	101.23
木姐市	0~1	298.15	385.21
	1~2	319.72	236.19
	2 以上	0.00	0.59

### 6.5 口岸发展对城市建成区扩张的引领

口岸是边境城市的重要组成部分,口岸的发展直接影响着边境城市的发展和空间布局<sup>[11]</sup>。瑞丽姐告是中国最大的对缅贸易陆路口岸,与缅甸木姐口岸对开,在两市的建成区扩张进程中有着不可替代的作用。2012年后瑞丽—木姐口岸发展迅速,由口岸经济自发培育和两国政府推动的边境经济合作区建设,逐渐在两市的城市扩张过程中占据主导作用。

参考王恒<sup>[21]</sup>提出的港城关系指数 PCRI(Port-City Relationship Index)定量评价口岸对城市建成区空间结构的影响。计算公式如下:

$$PCRI = \frac{S_{pc}}{\sqrt{A}} \quad (10)$$

其中: $S_{pc}$ 表示建成区重心距口岸的距离,定量代表口岸与城市关系的大小; $A$ 表示边境城市建成区面积。PCRI值越小,表示口岸对城市形态变化的影响越大。计算结果显示(图9),瑞丽市PCRI值大于0.56,属于分离式口岸,2012~2018年数值不断减小,波动幅度大于0.2,表明其核心建成区虽与口岸有一定距离,但在《方案》批准后受到口岸发展的影响持续增加。木姐市PCRI值位于0.33~0.56之间,属于边缘型口岸,2012~2018年的波动幅度较小,且PCRI值本身较小,表明其城市建成区与口岸保持着密切且稳定的联系。对比两市,木姐市相比于瑞丽市对口岸的依赖程度更高,城市形态受口岸的影响也更大。

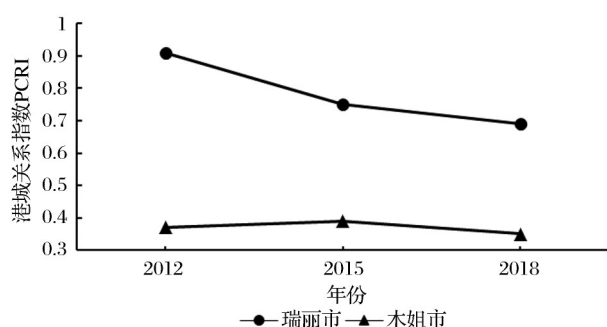


图9 瑞丽市、木姐市 PCRI 变化

Fig.9 Changes in PCRI in Ruili and Muse

## 7 结 论

基于 Landsat OLI/TM 和 NPP\_VIIRS 遥感数据,提取位于中缅边界互相毗邻的瑞丽市和木姐市 2012、2015 和 2018 年的建成区信息,从建成区扩张数量、空间分布格局和夜光规模 3 个方面研究了 2012~2018 年两市建成区的扩张变化特征,得出如

下结论:

(1)结合 Landsat 8 OLI/TM 与 NPP\_VIIRS 夜光影像,利用 NDVI,从 NDBI 结果中有效剥离低密度植被、裸地信息,准确提取城市建成区信息。体现了夜光数据配合其他常用卫星遥感数据提取城市建成区信息的潜力。

(2)2012~2018 年两市建成区扩张显著,瑞丽市从 2 135.94 hm<sup>2</sup> 增长到 5 112.44 hm<sup>2</sup>;木姐市从 1 041.22 hm<sup>2</sup> 增长到 2 274.51 hm<sup>2</sup>。瑞丽市建成区西部扩张最为明显,东部次之,城市形状逐渐拉长,空间重心持续向西移动,呈现“一体两翼”式扩张格局。而扩张类型和夜光规模分析均显示瑞丽市新的城市扩张骨架已逐渐成型,从建成区外延向城市框架内部填充及基础设施完善阶段转变。木姐市建成区规模较小,主要向西北和正东方向扩张,以西北向扩张为主,建成区一直保持较为明显的外延特征,但城市土地集约利用水平不高。在交互协同发展过程中,瑞丽市占主导地位,木姐市处在依附地位,两市的协同快速扩张也反映出中缅两国政治经济的紧密交流和广阔的合作空间。

(3)城市建成区扩张驱动力分析表明:“自然环境条件”、“经济产业发展”、“政策规划”、“交通建设”以及“口岸发展”共同驱动着瑞丽市和木姐市的城市发展。两市同处瑞丽坝内,良好的地理位置为建成区的扩张提供了前提。经济实力的快速增强,二三产业占比的提升,为瑞丽市和木姐市的建成区扩张提供了强劲动力。在成为国家重点开发开放试验区后,在配套政策规划的引领下,交通网络和口岸建设有了快速发展,并带动两市建成区在 6 a 中得到了快速的扩张。

### 参考文献 (References):

- [1] Lü Xiao, Huang Xianjin. Research progress and prospect of construction land expansion[J]. Geography and Geo-information Science, 2013, 29(6): 51-58. [吕晓, 黄贤金. 建设用地扩张的研究进展及展望[J]. 地理与地理信息科学, 2013, 29(6): 51-58.]
- [2] Zhang Yuxin, Li Xi, Song Yang, et al. Urban spatial form analysis of GBA based on “LJ1-01” nighttime light remote sensing images[J]. Journal of Applied Sciences, 2020, 38(3): 466-477. [张雨欣, 李熙, 宋杨, 等. 基于“珞珈一号”夜光遥感影像的粤港澳大湾区城市空间形态分析[J]. 应用科学学报, 2020, 38(3): 466-477.]
- [3] Bai Heting, Ma Mingguo, Yan Ran, et al. Evaluation of urban expansion in Chongqing city based on the nighttime light data



- [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2019, 34(1):216-224.[白贺庭,马明国,阎然,等.基于夜间灯光数据的重庆市城市扩张研究[J].遥感技术与应用,2019,34(1):216-224.]
- [4] Huang Muiyi, Yue Wenzhe, He Xiang. Decoupling relationship between urban expansion and economic growth and its spatial heterogeneity in the Yangtze economic belt[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(2):219-232.[黄木易,岳文泽,何翔.长江经济带城市扩张与经济增长脱钩关系及其空间异质性[J].自然资源学报,2018,33(2):219-232.]
- [5] Lin Zhiqiang, Peng Shuangyun, Hong Liang, *et al.* Dynamic monitoring and spatial-temporal pattern evolution of built-up areas in central Yunnan based on nighttime light data[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(1):265-271.[林之强,彭双云,洪亮,等.基于夜光数据的滇中城市建成区动态监测与时空格局演变[J].水土保持研究,2021,28(1):265-271.]
- [6] Shi Lingfei, He Xiaoyu, Shen Jian, *et al.* Urban expansion and forecast analysis of Nairobi based on SLEUTH model[J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition, 2020, 42(6):1101-1109.[施令飞,何晓宇,沈坚,等.基于SLEUTH模型的内罗毕城市扩张预测分析[J].云南大学学报(自然科学版),2020,42(6):1101-1109.]
- [7] Iman Roustae, Md Omar Sarif, Rajan Dev, *et al.* Spatiotemporal analysis of land use/land cover and its effects on surface urban heat island using Landsat data: a case study of metropolitan city Tehran(1988-2018)[J]. Sustainability, 2018, 10(12):1-25.
- [8] Bai Guangrun. Research on Chinese frontier cities and frontier geography[J]. Geography Teaching, 2001(10):1-3, 9.[白光润.中国边境城市与边境地理研究[J].地理教学,2001(10):1-3,9.]
- [9] Yang Xin, Peng Fei, Zhang Qiqi, *et al.* The rank-size distribution and influencing factors of foreign trade in China's border from 2000 to 2017[J]. World Regional Studies, 2020, 29(6):1102-1112.[杨鑫,彭飞,张琦琦,等.2000年来中国边境城市对外贸易位序-规模分布及其影响因素[J].世界地理研究,2020,29(6):1102-1112.]
- [10] Yang Qingshan, Liu Jian, Zhang Yu, *et al.* Multi-scale factors influencing the evolution of Manzhouli port-city relationship[J]. Social Science Journal, 2020, 75(10):2146-2163.[杨青山,刘鉴,张郁,等.满洲里口岸—城市关系演变的多尺度影响因素分析[J].地理学报,2020,75(10):2146-2163.]
- [11] Cao Guixiong. Radiating urbanization with border port: development model of southwest border in China[J]. Journal of North Minzu University(Philosophy and Social Science), 2020(3):30-36.[曹贵雄.以边境口岸辐射城镇化:西南边境地区发展模式研究[J].北方民族大学学报(哲学社会科学版),2020(3):30-36.]
- [12] Zha Y, Gao J, Ni S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(3):583-594.DOI:10.1080/01431160304987.
- [13] He Peng, Li Xiaojing, Xu Lishuai, *et al.* Expansion and driving forces of build-up area in Taiyuan[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2017, 37(7):517-522.[贺鹏,李晓静,徐立帅,等.太原市建成面积扩张及驱动力分析[J].山西农业大学学报(自然科学版),2017,37(7):517-522.]
- [14] Yang Yangguang, Chen Jianbo. Urban building area extraction based on Landsat OLI images[J]. Inner Mongolia Science Technology & Economy, 2017(16):86-87.[杨阳光,陈建波.基于Landsat OLI影像的城市建筑面积提取[J].内蒙古科技与经济,2017(16):86-87.]
- [15] Tang Liangbo, Cui Haishan. Improvement of urban construction land extraction method based on NPP-VIIRS nighttime light data and Landsat-8 data: a case study of Guangzhou city[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2017, 40(9):69-73.[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.]
- [16] Liu Jiyan, Wang Xinsheng, Zhuang Dafang, *et al.* Application of convex hull in identifying the types of urban land expansion[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(6):885-892.[刘纪远,王新生,庄大方,等.凸壳原理用于城市用地空间扩展类型识别[J].地理学报,2003,58(6):885-892.]
- [17] Song Shanhai, Wang Kun, Chen Yan, *et al.* Correlation between night light remote sensing index and ecological environment status index: a case study of Guizhou[J]. Guizhou science, 2019, 37(1):38-45, 76.[宋善海,王堃,陈艳,等.县域夜间光遥感指数与生态环境状况指数相关性研究——以贵州省为例[J].贵州科学,2019,37(1):38-45,76.]
- [18] Su Y, Chen X, Wang C, *et al.* A new method for extracting built-up urban areas using DMSP-OLS nighttime stable lights: a case study in the Pearl River Delta, southern China[J]. GIS Science & Remote Sensing, 2015, 52(2):218-238. DOI:10.1080/15481603.2015.1007778.
- [19] Zhu X, Ma M, Yang H, *et al.* Modeling the spatiotemporal dynamics of gross domestic product in China using extended temporal coverage nighttime light data[J]. Remote Sensing, 2017, 9(6):626. DOI:10.3390/rs9060626.
- [20] Zhang Jiao, Shen Xi, Liu Kang. Urban expansion analysis and driving mechanism study of Dali city based on geographical conditions survey[J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2018, 30(5):28-35.[张娇,申曦,刘康.基于地理国情普查的大理市城市扩展分析与驱动机制研究[J].云南地理环境研究,2018,30(5):28-35.]
- [21] Wang Heng. A Analysis study of port city expansion along the maritime Silk Road by remote sensing[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2018.[王恒.海上丝绸之路沿线港口城市扩张遥感分析研究[D].北京:中国科学院大学,2018.]

## Remote Sensing Dynamic Monitoring and Driving Force Analysis of Typical Urban Expansion along the China–Myanmar Border

Li Yimin<sup>1,2</sup>, Wang Dongchi<sup>1</sup>, Liu Xinzhi<sup>1</sup>, Yuan Jing<sup>1</sup>, Zhao Zhifang<sup>1,2,3</sup>

(1. *Yunnan University, School of Earth Science, Kunming 650500, China;*

2. *Research Center of Domestic High-resolution Satellite Remote Sensing Geological Engineering, Kunming 650500, China;*

3. *MNR Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration & Utilization, Kunming 650500, China)*

**Abstract:** In the context of "One Belt, One Road", the current research on the development of built-up areas in border cities is insufficient, especially the expansionary interaction of cities adjacent to domestic and foreign ports needs to be explored. The cities of Ruili and Muse, which are typical border crossing cities in the China–Myanmar border region, are used as the study area. This study selects remote sensing images from 2012, 2015 and 2018, and extracts the built-up areas of the two cities using the Urban Construction Land Index to analyze the dynamic and changing characteristics of the built-up areas of the two cities after the establishment of the Ruili Development and Opening-Up Pilot Zone in terms of the number of expansions, spatial distribution patterns and internal economic scale. Furthermore, the interaction between the evolution of the two cities' built-up areas and the drivers of expansion are also discussed. The results show that under the combined effect of the natural environment, economic industry, policy planning, transportation, ports and other factors, the built-up areas of the two cities have expanded significantly. The expansion of Ruili is most obvious in the western part of the urban, followed by the east, showing a "one body, two wings" expansion pattern, gradually shifting from the outer extension of built-up areas to the internal filling and infrastructure improvement stage. Muse is expanding mainly to the northwest and due east, and the built-up areas of the city maintain a more pronounced outward character, but the level of intensive land use within the city is low. In the process of interactive and coordinated development, Ruili is dominant and Muse is in a dependent position. The rapid synergistic expansion of the two cities also reflects the close political and economic exchanges and the vast scope for cooperation between China and Myanmar.

**Key words:** China–Myanmar border area; Remote sensing of nighttime light; Urban built-up areas expand; Spatio-temporal analysis; Driving forces