



武汉大学学报(信息科学版)

*Geomatics and Information Science of Wuhan University*

ISSN 1671-8860, CN 42-1676/TN

## 《武汉大学学报(信息科学版)》网络首发论文

题目: POI 和夜间灯光融合数据用于城乡结合部空间划定的研究——以武汉市为例  
作者: 孟滢滢, 周思贇, 聂艳, 曾怀文, 于婧  
DOI: 10.13203/j.whugis20220597  
收稿日期: 2023-06-04  
网络首发日期: 2023-06-28  
引用格式: 孟滢滢, 周思贇, 聂艳, 曾怀文, 于婧. POI 和夜间灯光融合数据用于城乡结合部空间划定的研究——以武汉市为例[J/OL]. 武汉大学学报(信息科学版).  
<https://doi.org/10.13203/j.whugis20220597>



**网络首发:** 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认:** 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

DOI:10.13203/j.whugis20220597

### 引用格式：

孟滢滢, 周思曠, 聂艳, 等. POI和夜间灯光融合数据用于城乡结合部空间划定的研究——以武汉市为例[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2023, DOI: 10.13203/j.whugis20220597 (Meng Yingying, Zhou Size, Nie Yan, et al. Spatial Delimitation of the Urban-Rural Fringe Based on POI and Nighttime Light Data: A Case Study of Wuhan City[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2023, DOI: 10.13203/j.whugis20220597)

# POI 和夜间灯光融合数据用于城乡结合部空间划定的研究

## ——以武汉市为例

孟滢滢<sup>1</sup> 周思曠<sup>1</sup> 聂艳<sup>2</sup> 曾怀文<sup>3</sup> 于婧<sup>1</sup>

1 湖北大学区域开发与环境影响湖北省重点实验室, 湖北 武汉, 430062

2 华中师范大学地理过程分析与模拟湖北省重点实验室, 湖北 武汉, 430079

3 深圳市城市空间规划建筑设计有限公司, 广东 深圳, 518039

**摘要：**城乡结合部边界识别是城乡精细规划与治理的基础工作，对于土地可持续利用、城乡一体化等进程具有推动作用。以往城乡结合部划分存在数据源单一、获取困难、时空分辨率低的不足，本研究基于电子地图兴趣点(POI)和夜间灯光融合数据(NPP/VIIRS)，结合城乡空间结构关系，提出了一种新的城乡结合部空间识别方法，以武汉市为例，求得城乡结合部边界，利用土地利用结构信息熵、NDVI以及人口密度数据对划定结果进行验证和比较，并对典型区域进行了野外实地校核。结果表明：(1) NPP&POI能够综合POI与夜间灯光中设施类型、光照强度和分辨率差异的特征，相较于单独采用POI、夜间灯光和人口密度数据识别出的城乡结合部边界准确度更高、时效性更强；(2) NPP&POI相较于土地利用、景观等数据更能表征城乡发展活力，定量识别的出城乡潜在中心区与多层结构对于城乡基础设施的配置、产业分工、生态职能划分等研究具有参考意义；(3) NPP&POI在城乡空间上的二次突变规律证实了城乡结合部作为城市扩张过程中产生的地域实体客观存在，为城乡三元结构理论提供了实证支撑。

**关键词：**NPP&POI综合指数；城乡结合部；断裂点分析法；城乡空间结构

**中图分类号：**F299.27

**基金项目：**教育部人文社会科学研究青年基金“基于多准则决策的城乡国土空间冲突识别及调控机制研究”(20YJC630207)。

**第一作者：**孟滢滢，硕士研究生，研究方向为国土空间规划。202021108011271@stu.hubu.edu.cn

**通讯作者：**于婧，博士，教授，研究方向为国土空间规划、土地资源评价与管理。yjing@hubu.edu.cn

# Spatial Delimitation of the Urban-Rural Fringe Based on POI and Nighttime Light Data: A Case Study of Wuhan City

*Meng Yingying<sup>1</sup> Zhou Size<sup>1</sup> Nie Yan<sup>2</sup> Zeng Huaiwen<sup>3</sup> Yu Jing<sup>1</sup>*

1 Hubei Key Laboratory of Regional Development and Environmental Response, Hubei University, Wuhan 430062, China

2 Hubei Provincial Key Laboratory for Geographical Process Analysis and Simulation, Central China Normal University, Wuhan 430079, China

3 Shenzhen Urban Space Planning and Architectural Design Co., Ltd., Shen Zhen 518039, China

**Abstract: Objectives:** The boundary identification of urban-rural fringe is the basic work of urban-rural fine planning and governance, plays an important role in promoting the sustainable use of land, urban-rural integration and other processes. The purpose of this study is to solve the problems of single data source selection, difficulty in data acquisition, low temporal and spatial resolution in the past recognition of urban-rural fringe. **Methods:** Taking Wuhan as an example, this study uses the breakpoint analysis method to obtain the boundary of urban-rural fringe. Land use structure information entropy, NDVI and population density data are used to verify and compare the delineation results, and field visits and analysis are conducted for typical regions. **Results:** 1) NPP&POI can integrate the characteristics of difference in facility type, light intensity and resolution between POI and nighttime light, and has higher accuracy and timeliness compared with the boundary of urban-rural fringe identified by nighttime light, population density and other data alone. 2) Compared with land use, landscape and other data, NPP&POI can better represent the vitality of urban and rural development. It can quantitatively identify the potential urban and rural central areas and multi-layer structures. This result has reference significance for the research of urban and rural infrastructure allocation, industrial division, ecological function division, etc. 3) The second mutation rule of NPP&POI in urban and rural space confirms that the urban-rural fringe exists objectively as a regional entity generated in the process of urban expansion, providing empirical support for the theory of urban-rural ternary structure.

**Keywords:** NPP&POI composite index; urban-rural fringe; break point analysis; structure of urban and rural space

# 1 引言

传统城乡二元体制遵循农村服务城市的原则,在推动中国经济腾飞、城市化等进程中发挥了重大作用,同时也导致了城市臃肿、乡村凋敝、生态退化与分割等问题<sup>[1]</sup>。随着城市化、郊区化的深入发展,城乡结合部土地利用矛盾尖锐、社会管理混乱,被认为是城乡结构中的“第三元”,其范围划定成为城乡空间结构研究的难点<sup>[2]</sup>。城乡结合部空间范围的划定作为城乡精细规划与治理的先行环节,影响到城乡空间资源的有效发挥和城乡一体化持续健康的发展,科学选定数据源对提高划定结果准确性意义重大<sup>[3]</sup>。

早期城乡结合部空间界定多选取距城市核心区距离<sup>[4]</sup>、人口数量与比例<sup>[5、6]</sup>、通勤距离<sup>[7]</sup>等指标,如莱斯鲁姆将城市中心区向外延伸 6~10km 的环形区域划定为城乡结合部<sup>[4]</sup>,布莱恩特依据农业人口与非农业人口的比例来确定城乡结合部范围<sup>[6]</sup>,该类方法受行政边界限制较大,结果准确度低,难以应用于不同发展程度和地域的城市。随着信息化的深入发展,土地利用<sup>[8]</sup>、景观<sup>[9]</sup>、人口空间分布数据集<sup>[10]</sup>等大数据被广泛应用于空间定量研究中。如赵华甫等通过解译 1999 年和 2010 年两期 Landsat 遥感影像,计算土地利用动态变化度获得了北京市城乡结合部边界<sup>[8]</sup>。黄祥等总结了单一景观指数用于城乡结合部边界中存在的问题,构建综合景观指数模型确定了成都市城乡结合部范围<sup>[9]</sup>。上述方法虽突破了行政边界的限制,但对经济社会发展状况解释度较低<sup>[11]</sup>。人口密度分布数据由空间化算法模拟生成,反演结果能够展示行政区内人口分布差异,是 GDP 预测<sup>[12]</sup>、防灾减灾规划<sup>[13]</sup>、城乡发展规划<sup>[14]</sup>的重要数据源,其中 WorldPop 相较于常用的千米级开源数据如 LandScan、GPWv4、中国公里网格人口分布数据集等整体精度最高<sup>[15、16]</sup>,但上述数据由人口普查数据反演获得,时间分辨率较低,仅能展示人口数目的空间差异,难以反映人口从业结构、生活方式等人口城镇化内涵特征,对城乡结合部的“过渡”特性解释度较低,同时其自下而上开发时通常选用 OSM 等开源数据,准确度相对较低,在镇街尺度表现尤为突出,应用时还需二次开发。

夜间灯光影像客观性强,能够准确反映人类活动与区域发展差异,在人口和 GDP 估算<sup>[17、18]</sup>、土地城镇化水平测算<sup>[19]</sup>、建成区与城市群边界提取<sup>[20、21]</sup>等方面应用颇丰。近年来,系列研究表明夜光遥感空间衰减呈现先快后慢再快的反“S”曲线,这一梯度变化规律可以应用于城乡结合部空间范围识别中<sup>[22]</sup>。然而,夜光遥感分辨率的限制可能会导致识别结果大于实际范围,目前仅在重庆市等超大城市有所实践<sup>[23]</sup>。电子地图兴趣点(POI)密度分布情况能够从宏观与微观两个层面反映人类活动强度与社会经济发展水平,还与植物、自然景观及其格局的分布呈现显著的相关性<sup>[24]</sup>,已被广泛用于城市功能结构分析<sup>[25]</sup>、建成区提取<sup>[26]</sup>、土

地利用混合度测度<sup>[27]</sup>、人口数据空间化<sup>[17]</sup>等研究。

研究证实, POI 与夜光遥感空间耦合关系较好, 在城市空间结构研究结果中表现出较强的一致性<sup>[28]</sup>, 将其结合应用于城市空间差异研究能够突破传统统计数据中行政边界的限制, 相较于土地利用、景观、人口密度等数据既能保证对社会经济的解释度, 又能保证较高的时空分辨率, 是城乡结合部划分的理想数据源。相关研究多依据两者融合数值城市高、乡村低的特征, 采用二分法, 对建成区与非建成区进行区分与识别, 鲜有关于其内部空间变化规律的分析, 也未延伸到城乡结合部研究中。本研究的城乡结合部特指在快速城镇化过程中由于城市对空间拓展需求增强, 人口、产业、土地等要素在城乡间快速流动形成的城市核心区向乡村的大面积连片过渡地带<sup>[29]</sup>。

综上考量, 本文以武汉市作为研究区, 通过分析 NPP&POI 与城乡结合部的空间分布关系, 旨在将 POI 和夜间灯光融合数据引入到城乡结合部空间识别中, 提高城乡结合部空间识别的准确性与时效性, 该方法有望应用于国土空间规划实践中, 识别结果有助于全面认识城乡空间结构, 为开展城乡结合部精细化治理提供参考。

## 2 研究区概况和数据

### 2.1 研究区概况

武汉市是湖北省省会, 九州通衢, 是中国中部唯一的副省级城市, 下辖 13 个区, 辖区面积 8569.55km<sup>2</sup>。截止 2019 年底, 武汉市地区生产总值超过 1.62 万亿元, 常住人口 1121.20 万人, 城镇化率达 80.49%。随着城市化的推进, 武汉市通过“内优外拓”逐步构建起多中心、组团式的城市空间格局, 城镇化空间发展不平衡, 中心七城区城镇化率均达 90%以上, 而周边城区城镇化率较低, 如蔡甸区、黄陂区, 城镇化率分别为 40.63%、49.21%<sup>[30]</sup>。

### 2.2 数据来源与预处理

#### 2.2.1 数据和来源

本研究数据分为三类, 一是夜间灯光数据, 二是电子地图兴趣点 (POI) 数据, 三是各类辅助数据。夜间灯光影像选用 Suomi NPP 卫星搭载的可见光红外成像辐射仪传感器的 DNB 波段, 来自美国国家地球物理数据中心, 成像时间为 2020 年 11 月, 分辨率 500m。POI 数据采用 Ospider 软件根据百度地图提供的 API 接口爬取。2010-2020 年归一化植被指数 (NDVI) 由 NASA 官网下载的 Modis 植被指数产品 MOD13Q1 合成, 分辨率为 250m。土地利用数据来源于第三次全国国土调查, 人口数据来自《武汉统计年鉴》(2020 年)。2020 年 WorldPop 数据集分辨率为 100m, 来源于项目官网 (<https://www.worldpop.org>)。

## 2.2.2 数据预处理

夜间灯光数据预处理：本研究选用的全球月度数据灯光产品已对云层反射、大气折射、极光、闪电和其他杂散光进行了剔除，并进行了星上辐射定标，仍需使用 ENVI 中值滤波工具去除背景噪声。

POI 数据预处理：百度地图 POI 原始数据存在数据冗余、分类庞杂的问题，鉴于研究需要，本研究对原始数据进行了清洗和重分类，剔除了近似值、重复值和空值，对不具有实体意义的行政地标类、道路与建筑附属信息的出入口类、门址类予以剔除，选取与自然景观和城乡人口活动密切相关的文体类、商业类、产业类、公服类、居住类五大类 POI 数据作为本次研究对象，最终获得武汉市 2021 年 4 月有效 POI 数据 345861 条（表 1）。

表 1 武汉市 POI 分类统计表

Tab.1 Statistical Table of POI Classification in Wuhan

POI 功能类别	百度地图 POI 一级行业分类	POI 数目
文体类	旅游景点、休闲娱乐、运动健身、教育培训、文化传媒、自然地物	53966
商业类	美食、酒店、购物、生活服务、丽人、汽车服务、金融	68508
产业类	公司企业	70204
公服类	医疗、交通设施、政府机构	33640
居住类	房地产	119543

注：百度地图 POI 一级行业分类中的“丽人”指美容、美发、美甲、美体等商业服务设施。

土地利用数据处理：对第三次全国国土调查数据进行重分类，分为耕地、园地、林地、草地、工业用地、其他建设用地、水体和其他用地八大类。其中将工业用地从建设用地中单独分出，作为指示城乡结合部的关键地类，遵循了农地城市流转由近郊农业用地→菜地→工业用地→居住用地填充→商业服务设施用地变化的一般变化规律<sup>[31]</sup>。

## 3 研究设计

### 3.1 研究方法

#### 3.1.1 核密度分析法

核密度分析能够计算空间各类要素在其周围邻域的密度，连续模拟和可视化反映各类要素的空间分布情况。本文选用该方法对武汉市 POI 数据的相对集中度进行可视化表达，计算公式如下<sup>[32]</sup>：

$$P_i = \frac{1}{n\pi R^2} \times \sum_{j=1}^n K_j \left(1 - \frac{D_{ij}^2}{R^2}\right)^2 \quad (1)$$

式中,  $P_i$ 为空间任意  $i$  点的核密度计算值,  $R$  为核密度函数搜索半径,  $n$  为带宽  $R$  范围内研究对象  $j$  点总数,  $K_j$ 为  $j$  点的权重, 其中  $R > D_{ij}$ ,  $D_{ij}$ 为  $i$  点与  $j$  点的欧氏距离。

### 3.1.2 NPP&POI 综合指数

该指数基于夜间灯光灰度值和 POI 核密度数值权重相同的理论, 采用“平均值法”构建<sup>[13]</sup>, 既能保留使用夜光遥感识别结果的连片优势, 又能减轻其“饱和”、“溢出”效应。公式如下:

$$POINTL_i = \sqrt{P_i \times NPP_i} \quad (2)$$

其中,  $POINTL_i$ 为 NPP&POI 综合指数;  $P_i$ 为  $i$  点 POI 核密度值;  $NPP_i$ 为  $i$  点 NPP 夜间灯光亮度值。

### 3.1.3 断裂点分析

断裂点理论是康维斯提出的关于城市与区域相互作用的理论, 通过选取距离衰减最大值作为突变终止点, 被广泛应用于城市吸引范围的确定<sup>[33]</sup>。公式如下:

$$V_{ij} = X_{i(j+1)} - X_{ij} \quad (3)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum V_{ij} \quad (4)$$

$$DDV_{ij} = \frac{V_{ij}}{\bar{v}} \quad (5)$$

$$DDV_i = \max(DDV_{ij}) \quad (6)$$

式中:  $V_{ij}$ 为第  $i$  条剖面线上  $j$  区间上的变化率,  $X_{i(j+1)}$ 为第  $i$  条剖面线上第  $j+1$  个序列特征值,  $X_{ij}$ 为第  $i$  条剖面线上第  $j$  个序列特征值,  $\bar{v}$ 为第  $i$  条剖面线上的平均变化率,  $DDV_{ij}$ 为第  $i$  条剖面线上第  $j$  区间的距离变化值,  $DDV_i$ 为第  $i$  条剖面线上的最大距离变化值, 即  $i$  方向上的断裂点。

### 3.1.4 土地利用结构信息熵模型

土地结构信息熵能够反映一定区域内土地利用结构的复杂性, 熵值越大表明该研究区土地利用结构越复杂, 土地类型越多样, 反之亦然<sup>[34]</sup>, 计算公式如下:

$$W = -\sum_{i=1}^n x_i \ln x_i \quad (7)$$

式中:  $W$ 为土地利用结构信息熵,  $i$ 为样本区域内土地类型的数量,  $x_i$ 为样本区域中某种土地利用类型所占总面积的百分率。  $W$ 数值越大, 表明样本区域中土地利用结构越复杂, 反之越简单。

## 3.2 城乡结合部空间划定标准

### 3.2.1 NPP&POI 综合指数构建

基于 POI 与夜间灯光数据格式差异，本研究选用核密度分析法将 POI 点数据转换为能直观表现空间分布情况的栅格数据，采用平均值法和模糊隶属度工具计算得到归一化后的 NPP&POI 综合指数，用于城乡结合部空间范围划定。在进行 POI 核密度分析时，带宽值的确定对于 NPP&POI 综合指数计算结果影响较大<sup>[35]</sup>。本文总结前人研究经验后<sup>[35]</sup>分别选用 50m、500m、3500m 作为核密度分析带宽值，对 NPP&POI 的空间形态进行了比较分析（图 1）。

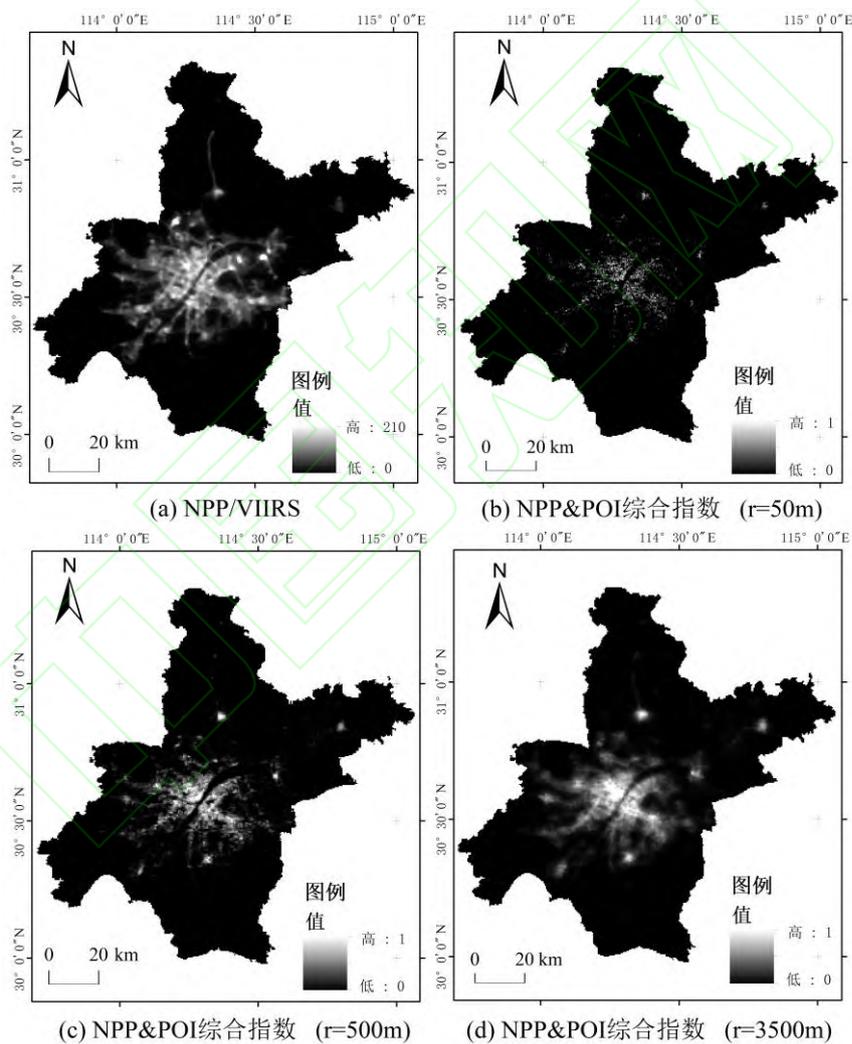


图 1 不同搜索距离下武汉市 NPP&POI 处理效果对比

Fig.1 Comparison of NPP&POI processing effects in Wuhan under different search distances

由图 1a 可见，NPP/VIIRS 受空间分辨率影响，在高度城市化地区亮度值显著较高，并沿交通干线向相邻空间蔓延，北部前川街道的灯光更是出现了甩尾情况，城乡之间边界模糊

不清，出现“饱和”、“溢出”现象。不同带宽分析下的 POI 与 NPP/VIIRS 融合结果能够从不同程度对这一现象进行改善。由图 1b、c、d 可以看出，带宽值为 50m 时，NPP&POI 呈现点状破碎分布特征，数据空间连续性差，带宽值为 3500m 时对 NPP/VIIRS “饱和”、“溢出”效应减轻程度较低，城乡空间局部细节特征难以凸显，而带宽值为 500m 时不仅能够显著减轻夜间灯光数据的“饱和”、“溢出”效应，还能综合设施类型与光照强度之间的差异，减轻道路沿线灯光值过强的问题，满足城乡结合部划定中平衡全域尺度和局部细节的需要。因此本文将 500m 确定为 POI 核密度分析带宽值，生成 NPP&POI 综合指数，如图 1c 所示。

为对 NPP&POI 空间变化趋势进行研判，本文对其构建等值线，并依据人口重心模型计算得武汉市人口重心，以此为原点，2° 为间隔，向外引出 180 条剖面线，以 500m 为间距生成要素节点，用于提取武汉市域内不同方向和距离上的图斑数值（图 2）。

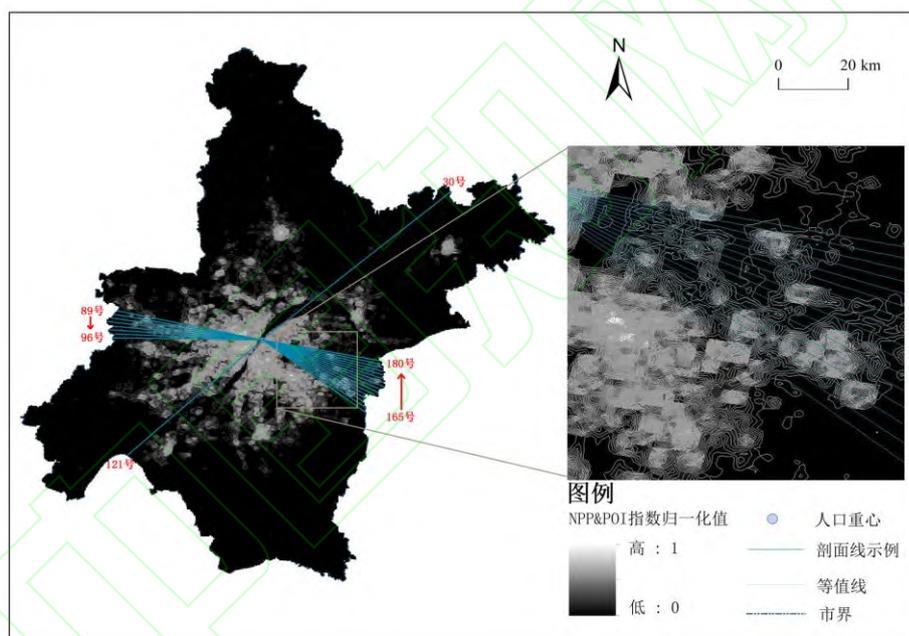


图 2 NPP&POI 剖面线与等值线示意图

Fig.2 Schematic diagram of NPP & POI section line and isoline

### 3.2.2 NPP&POI 与城乡空间结构关系分析

城市核心区是指城市内开发强度最高，为城市及其辐射范围提供经济、政治、文化等公共服务和空间的地区，集聚效应使得大量人类活动与服务设施在此集聚。城乡结合部作为城市核心区与乡村之间的过渡区域，人类活动强度较城市核心区大幅降低，在空间和功能上区别于城市核心区。由图 2、图 3 可见，随着距离人口重心距离增加，NPP&POI 数值呈现迅速跌落的态势，在城市核心区与城乡结合部之间出现第一次突变。

城乡结合部在人口、经济、社会活动方面与城市联系十分紧密，应被视为建成区的一部

分。对 NPP&POI 综合指数构建等值线后发现，城市核心区由于人类活动和各类服务设施集中，等值线之间的距离非常紧密，城乡结合部等值线距离相对增大并且 NPP&POI 数值波动较大，而到乡村，等值线变得非常稀疏，NPP&POI 数值迅速下降并趋近于零（图 3）。进一步对 NPP&POI 等值线围合面积与距人口重心距离关系进行分析后发现，随着距人口重心距离增加，面积累积值大致经历三个变化阶段，即城市核心区的平缓增长阶段、城乡结合部的波动增长阶段和乡村的急剧提升阶段（图 3），NPP&POI 在城乡结合部与乡村之间出现第二次突变。

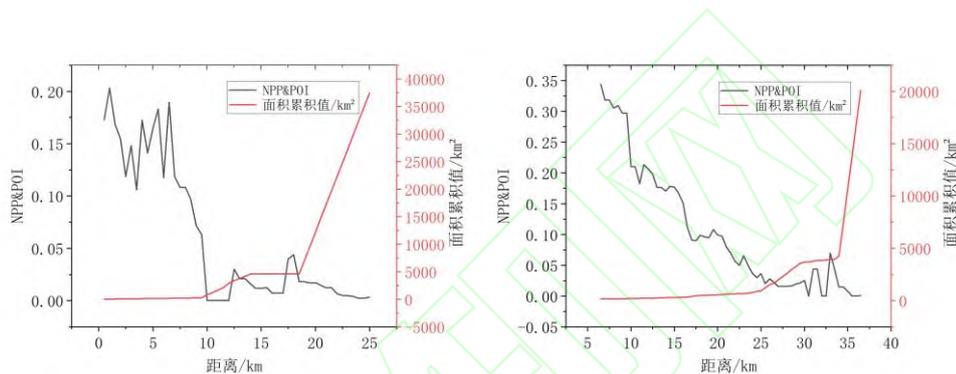


图 3 NPP&POI 及其等值面面积随距离变化图（以 30、121 号剖面线为例）

Fig.3 Variation of NPP & POI and its isosurface area with distance (take 30 and 121 transects as an example)

根据 NPP&POI 在城乡空间中的二次变化规律，本文将 NPP&POI 数值急剧衰减区域作为城乡结合部内边界，将 NPP&POI 等值线围合面积急剧提升区域作为城乡结合部外边界。分别将断裂点法计算得到的 NPP&POI 综合指数及其等值线变化拐点连接后即可得到城乡结合部空间范围。

### 3.3 划定结果检验方法

一般来说，典型的城市核心区与乡村土地利用类型较为简单，土地利用结构信息熵较低；城市核心区建设用地连绵分布，NDVI 较低，乡村以耕地、园地等农用地和林地等生态用地为主，NDVI 较高<sup>[31]</sup>。城乡结合部是城市与乡村之间的过渡地带，在城市蔓延的过程中其自然下垫面受到不断地改造，NDVI 为中等水平并处于降低趋势，土地利用结构紊乱度高。据此规律，本研究在武汉市行政区划内建立 3km\*3km 的格网，通过引出验证样带，对比分析城市核心区、城乡结合部、乡村土地利用结构信息熵与 NDVI 空间特征，检验划定结果准确性，并与人口密度数据进行比对分析。

## 4 研究结果

#### 4.1 城乡结合部内边界识别结果

将 NPP&POI 综合指数在 180 个方向上的断裂点连接后得到武汉市城乡结合部内边界。研究发现,在自然、经济、政治等的影响下,不同方向上断裂点数值有所差异,但大都在 0.1 附近波动,本研究将 0.1 作为城乡结合部内边界阈值,纠正个别方向上异常断裂点(表 2、图 3)。武汉市 NPP&POI 总体上呈中间高四周低的特征,城市核心区数值最高,在 0.2~0.6 之间波动,而到城乡结合部与乡村,数值急剧下降至 0.1 以下。同时,在主体高值区以外散布有七个高值集聚区,数值在 0.1~0.3 之间,将其空间位置与《武汉市国土空间总体规划(2021 年-2035 年)》对比分析后发现与其副城、新城组群相匹配,本研究将其识别为新城组团。结果显示,武汉市城市核心区主体主要包括江岸区、江汉区、硚口区、汉阳区、武昌区、青山区、洪山区西部,新城组团分别位于宋家岗、阳逻、蔡甸、纸坊、纱帽、前川、邾城。(图 4)

表 2 不同剖面线上 NPP&POI 断裂点数值统计表

Tab.2 Statistics of NPP&POI Breakpoint Values on Different Profile Lines

剖面线序号	NPP&POI 综合指数断裂点平均值
1~30	0.109
31~60	0.095
61~90	0.105
91~120	0.103
121~150	0.097
151~180	0.114

#### 4.2 城乡结合部空间范围划定与分析

将断裂点算法求得的 NPP&POI 等值线面积累计值拐点连接后得到城乡结合部外边界,对内外边界进行套合后,两条边界之间的部分为武汉市城乡结合部范围(图 4),它主要包括:蔡甸区蔡甸、大集、沌口、军山街道的大部,麦山街道东北部和沌阳街道西南部;东西湖区走马岭、径河街道的大部,长青、慈惠、金银湖街道的西部,新沟街道和柏泉办事处的中南部;汉南区东荆、纱帽街道的东部;汉阳区永丰街道西部和沌口江堤街东南部;黄陂区武湖、横店、滠口街道的南部,天河街道东南部,盘龙城、前川街道核心区的外围。江岸区谌家矶街道大部;洪山区九峰、洪山、青菱、八吉府、天兴乡、东湖风景区的大部,花山街道的西部,左岭街道的西中部;江夏区庙山、大桥街道和藏龙岛、金港新区的大部,豹澥、金口、郑店街道的北部,佛祖岭街道的南部,纸坊城区外围;青山区厂前街道东部,武钢厂

区和武东、白玉山、青山镇街道的大部；新洲区阳逻街道西部和邾城核心区的外围。

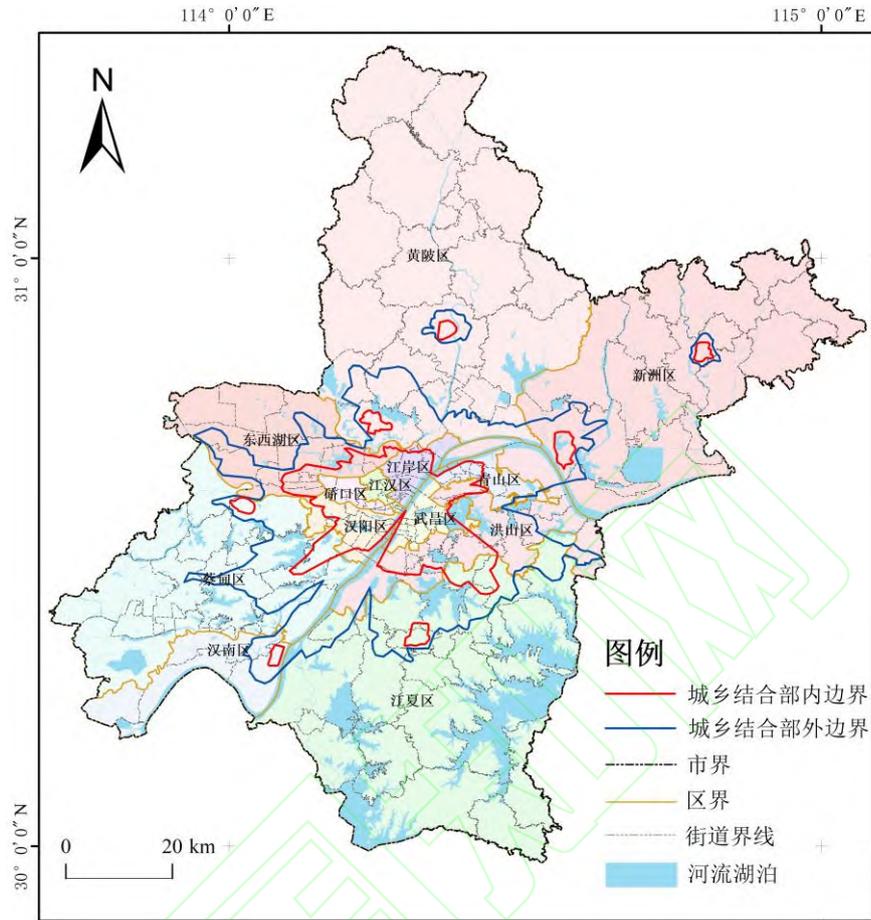


图 4 武汉市城乡结合部边界

Fig.4 Wuhan urban-rural fringe boundary

计算中发现，大型湖泊对武汉市城市扩张方向影响显著。以 165-180 号剖面线为例，在距人口重心 0-6km 范围内，NPP&POI 在 0.15~0.4 波动，超过 6km 后数值急剧下降并趋近于 0。而在西部的 89-96 号剖面线，NPP&POI 在距人口重心 6km 左右处仍维持在 0.5 左右的高值，直到 15-20km 处才下降至 0.1 左右。前者由于受到东湖阻隔，城市建设难以持续推进，人类活动急剧减少。后者由于平原连绵、水体阻隔少，城市化建设早、水平高，是江汉区与硚口区的分布区（图 5）。此类情况还表现在后官湖、知音湖、汤逊湖、金银湖等大型湖区，城乡结合部内边界凸向城市核心区，在马家湖、白水湖、严东湖、豹澥后湖、牛山湖、鲁湖、官莲湖、朱山湖等湖区，城乡结合部外边界向内凹进（图 4）。

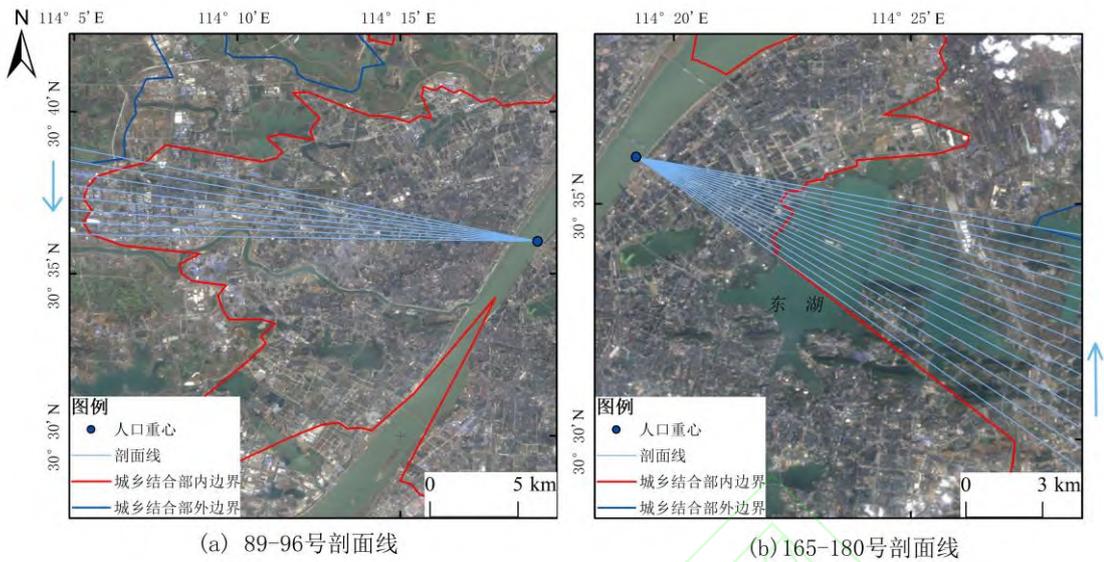


图5 剖面线遥感影像示意图

Fig.5 Schematic diagram of remote sensing image at section line

武汉市城乡结合部面积共 1482.35km<sup>2</sup>，占武汉市总面积的 17.30%，土地利用类型以建设用地、水域和耕地为主，分别占该区域总面积的 40.75%、30.03%、14.60%（图 6、表 3）。

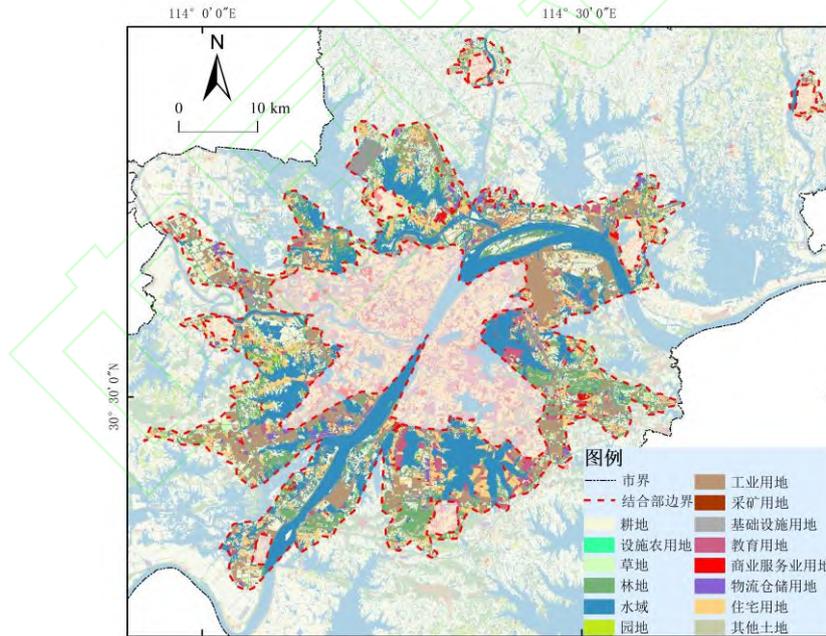


图6 武汉市城乡结合部土地利用类型分布图

Fig.6 Distribution Map of Land Use Types in the Urban Rural Fringe of Wuhan City

表 3 武汉市城乡结合部土地利用类型面积统计表

Tab. 3 Area Statistics of Land Use Types in the Urban Rural Fringe of Wuhan City

地类名称		面积/km <sup>2</sup>	比重/%	
农用地	耕地	216.42	14.60	
	设施农用地	1.49	0.10	
	合计	217.91	14.70	
生态用地	草地	34.51	2.33	
	林地	161.72	10.91	
	水域	445.15	30.03	
	园地	5.58	0.37	
	合计	646.96	43.64	
建设用地	工业用地	168.55	11.37	
	采矿用地	5.41	0.36	
	基础设施用地	175.11	11.81	
	教育用地	52.44	3.54	
	商业服务业用地	20.54	1.39	
	物流仓储用地	20.4	1.38	
	住宅用地	161.61	10.90	
	合计	604.06	40.75	
	其他土地	其他土地	13.42	0.91
		合计	13.42	0.91
总计		1482.35	100	

武汉市城乡结合部在三镇历史、大河山川城市“基因”的沿革下，受交通、经济、政策等作用，围绕武汉市城市核心区主体呈现“六轴两环”的带状式与跳跃式的分布特征。其中“六轴”分别为为阳逻-纱帽长江拓展轴、走马岭-蔡甸汉江拓展轴、豹澥-左岭武鄂拓展轴、宋家岗-柏泉武孝拓展轴、纸坊南向武咸拓展轴、沌阳-常福武仙拓展轴，“两环”指前川-滢水跳跃式拓展环、邾城-举水跳跃式拓展环。可见大型河流的分布与走向以及武汉城市圈的深度交流融合深刻影响着武汉市城乡结合部的空间形态。（图 7）

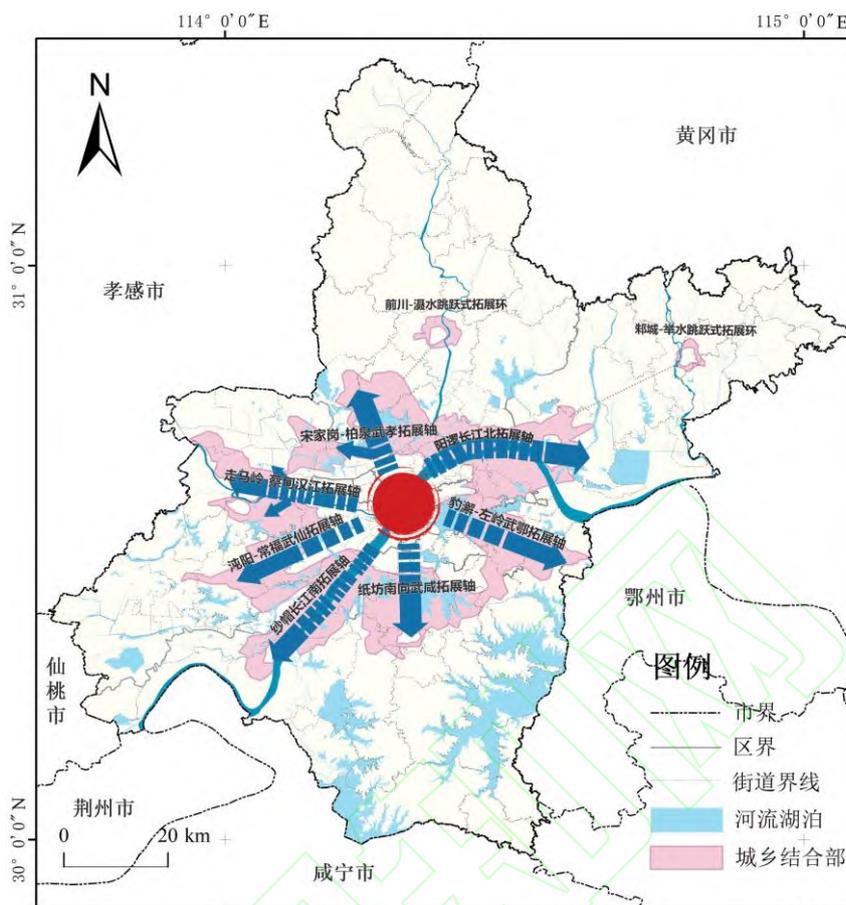


图 7 武汉市城乡结合部空间形态

Fig.7 Spatial form of Wuhan urban-rural fringe

### 4.3 城乡结合部识别结果验证

#### 4.3.1 空间整体测算

分别对前文中划定的 2020 年武汉市城市核心区、城乡结合部、乡村的人口密度、土地利用结构信息熵和 NDVI 进行测算后显示，人口密度在城市核心区为  $9335.83 \text{ 人}/\text{km}^2$ ，城乡结合部为  $2556.28 \text{ 人}/\text{km}^2$ ，乡村为  $827.84 \text{ 人}/\text{km}^2$ ，人口密度呈现城市→城乡结合部→乡村递减的规律。土地利用结构信息熵在城市核心区为 0.937，城乡结合部为 1.630，乡村地区为 1.418，符合城乡结合部高，城市核心区和乡村低的特征。NDVI 在城市核心区为 0.431，标准差为 0.101，城乡结合部为 0.523，标准差为 0.184，乡村为 0.718，标准差为 0.158，NDVI 呈现由城市→城乡结合部→乡村递增的特征，NDVI 标准差呈现城乡结合部高，城市核心区、乡村低的特征。

武汉市 2010-2020 年 NDVI 及其标准差测算结果显示，城市核心区、乡村 NDVI 呈现递增的趋势，标准差较低，与城市绿色基础设施建设、乡村土地整治等活动关系密切。城乡结合部 NDVI 呈现递减的趋势，与城市空间扩张导致下垫面性质发生改变有关，标准差较高，

符合城乡结合部高，城市核心区、乡村低的分布规律。（表 4）

表 4 2010–2020 年武汉市城市核心区、城乡结合部、乡村 NDVI 分布情况

Tab.4 Distribution of NDVI in urban core areas, urban-rural fringe and rural areas of Wuhan from 2010 to

2020						
地区	城市核心区		城乡结合部		乡村	
属性	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
2010	0.412	0.122	0.557	0.175	0.708	0.120
2011	0.418	0.102	0.576	0.176	0.721	0.124
2012	0.407	0.113	0.541	0.190	0.710	0.145
2013	0.410	0.110	0.535	0.196	0.691	0.151
2014	0.393	0.110	0.536	0.187	0.713	0.147
2015	0.394	0.103	0.547	0.193	0.710	0.155
2016	0.383	0.103	0.515	0.189	0.692	0.153
2017	0.386	0.100	0.541	0.188	0.719	0.148
2018	0.404	0.093	0.538	0.183	0.725	0.136
2019	0.410	0.094	0.501	0.183	0.694	0.144
2020	0.431	0.101	0.523	0.184	0.718	0.158
2010–2020 总变化量	0.019	-0.021	-0.034	0.009	0.010	0.038

#### 4.3.2 样带验证

为进一步对划定结果准确性进行验证，本研究在武汉市行政区划内建立了 3km\*3km 的验证格网并引出北-南，西-东、西北-东南、东北-西南四条验证样带，测算验证单元内的土地利用结构信息熵与 NDVI 数值（图 8）。由图 8 可见，武汉市土地利用结构信息熵由自然断点法可分为 0.00~0.70 的低值区、0.70~1.20 的中值区、1.20~1.76 的高值区，NDVI 由自然断点法分为 0.13~0.54 的低值区、0.54~0.70 的中值区、0.70~0.92 的高值区。通过检验样带内的土地利用结构信息熵与 NDVI 数值水平，分析其空间变化规律，可对划定结果的准确性进行检验。

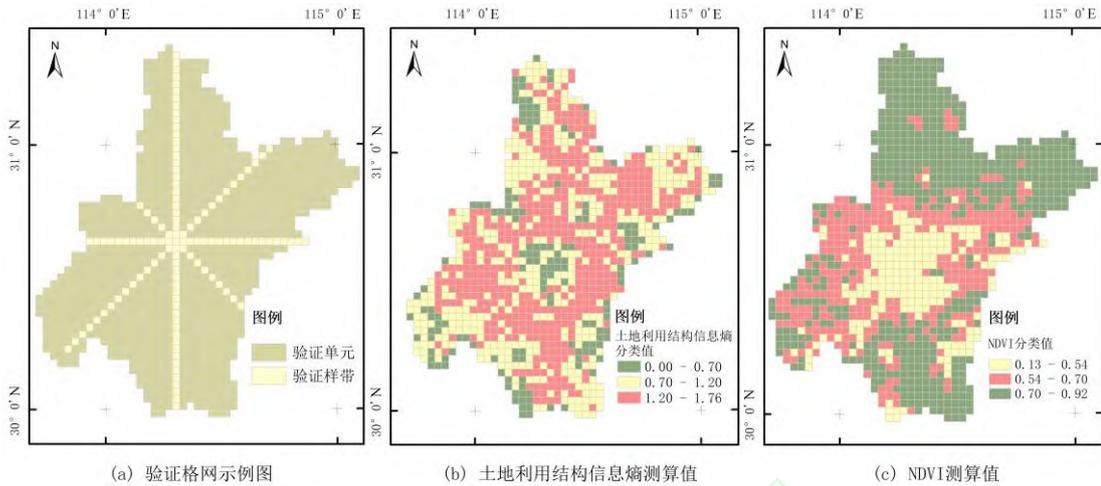
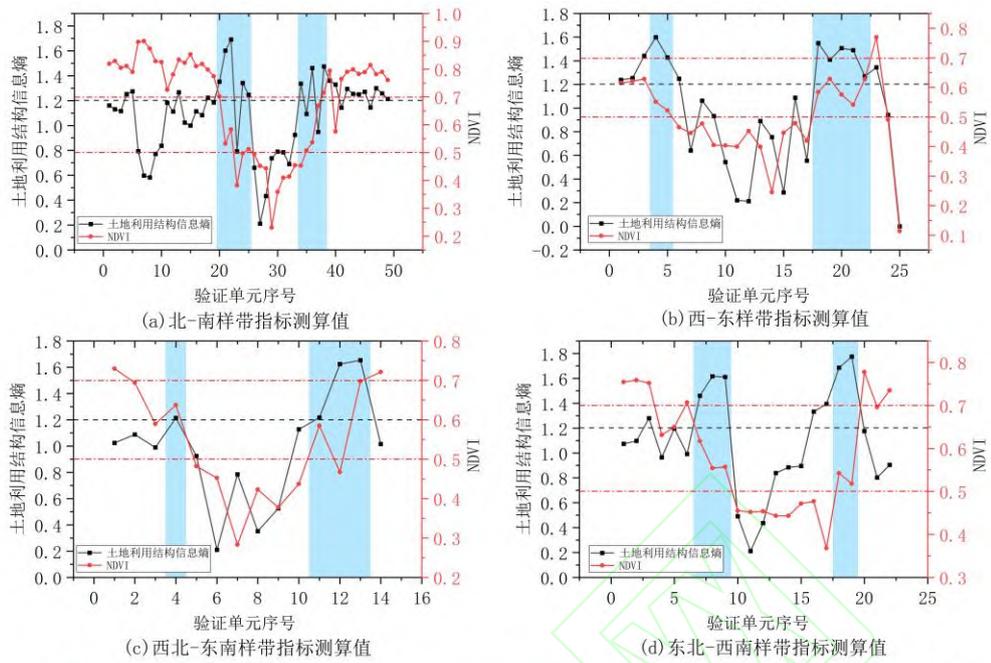


图8 验证网格及其测算值

Fig.8 Verification grid and its measured value

结果显示，北-南样带的 20-25、33-38 验证单元，西-东样带的 4-5、18-22 验证单元，西北-东南样带的 4、11-13 验证单元，东北-西南样带的 7-9、18-19 验证单元土地利用结构信息熵总体大于 1.2，属于高值区，NDVI 在 0.5~0.7 之间波动，属于中值区，为典型城乡结合部（图 9）。其中，北-南样带的 1-19、39 验证单元土地利用结构信息熵有所波动，部分地区大于 1.2，与耕地、园地、林地、草地大量交错分布有关，NDVI 大于 0.6，植被覆盖度高，40 验证单元土地利用结构信息熵较高，大于 1.2，NDVI 处于中值水平，在 0.5~0.6 之间，是由于该单元采矿用地连片分布，同时穿插有耕地、园地、林地等用地类型，但几乎没有住宅、商业用地分布，生活服务设施极为稀缺，NPP&POI 数值低，它们仍属于乡村地区。西-东样带中，8 验证单元受到湖泊分布影响，土地利用结构信息熵出现小幅上升，25 验证单元为涨渡湖分布区，NDVI 与土地利用结构信息熵急剧下降。



(e) 验证单元影像示例

图9 验证样带分析结果

Fig.9 Analysis results of Verification transects

测算结果表明，四条验证样带中，土地利用结构信息熵总体大于 1.2 并且 NDVI 处于 0.5~0.7 之间的区域与前文所划分城乡结合部范围一致，土地利用信息熵小于 1.3 且 NDVI 小于 0.5、大于 0.7 的区域与前文划分的城市核心区、乡村的范围一致，符合土地利用结构信

息熵从城乡结合部→乡村地区→城市核心区逐渐递减的规律，符合 NDVI 从乡村→城乡结合部→城市逐渐递增的规律。

#### 4.4 比对分析

将划定结果与 WorldPop 人口密度分布进行比对分析发现，武汉市城乡结合部范围与人口密度分布总趋势一致但有所差异，具体表现为其内、外边界相对于人口密度高、中值区向外有所扩张（图 10）。由图可知，a、b 验证单元人口密度位于 0~83.86 人/hm<sup>2</sup> 之间，属于低值区，但影像显示，该类验证单元景观类型丰富，林地、耕地、水体、在建与现状建筑交错分布。将其与《武汉市国土空间总体规划（2021-2035 年）》进行比较后发现，a 验证单元为宋家岗-横店发展轴的辐射范围，b 验证单元为中法生态城-蔡甸发展轴辐射范围，正处于大力开发建设期，即乡村向城市的过渡阶段，仅靠人口密度难以及时反映该类过渡区域开发利用状况。c 验证单元为金港新区所在地，自 2011 年底批复以来已建成大面积的产业园区，虽人口密度低，但其人口构成、产业类型和景观等特征已不属于乡村范畴。d 验证单元位于藏龙岛，虽人口密度属中值区，但开发时间早，已建成集科技、生态、居住和旅游等功能为一体的生态新城，不属于城乡结合部。由上可知，将 NPP&POI 用于城乡结合部识别在人口密度处于低值范围时可以准确区分出乡村与开发建设区、产业园区之间的差异，在人口密度处于中值范围时，可以区分出城乡结合部与生态新城的差异，识别结果相较于人口密度分布数据更加精准。

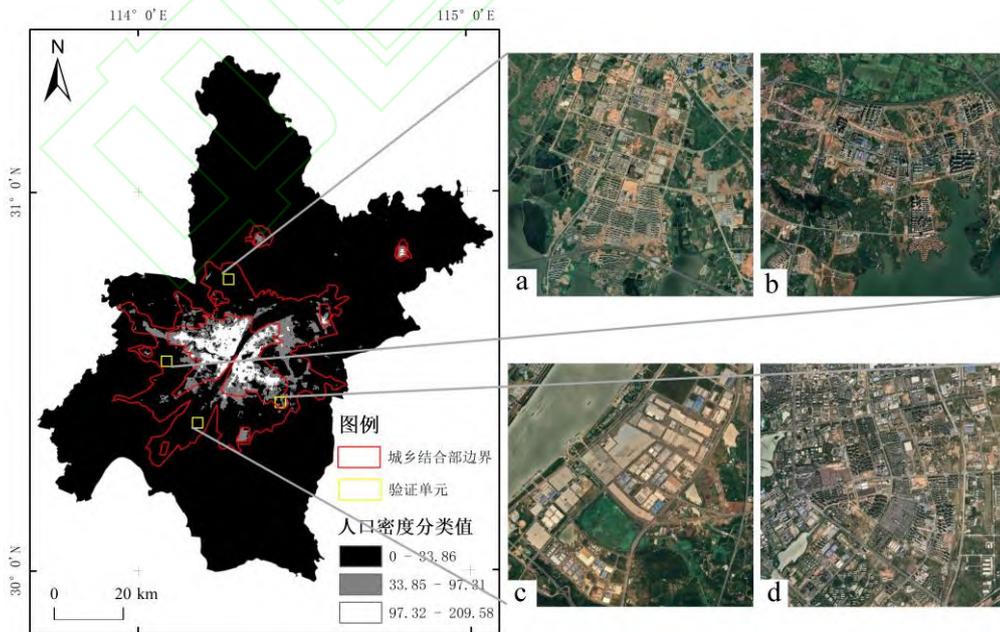


图 10 武汉市城乡结合部边界与人口密度分布图

Fig.10 Distribution Map of Boundary and Population Density in the Urban Rural Area of Wuhan City

#### 4.5 野外实地校核

为考察划定结果的真实性，本次研究对武汉市江汉区、武昌区、江岸区、黄陂区、青山区、洪山区、江夏区等地进行了实地走访，挑选了部分典型区域进行对照分析（图 11）。



图 11 实地考察点位分布图

Fig.11 Distribution Map of Site Investigation Points

图 11a、b 分别位于江汉路与楚河汉街，考察显示，该区域高楼林立、商业活跃，建筑容积率和人口密度高，路面硬化率高、植被稀疏，夜间除必要照明外还有灯光表演，与文中识别的城市核心区相符。图 11c、d 分别位于黄陂区青峰村和江夏区东方村，该类区域建筑低矮陈旧并沿道路稀疏排布，商业和公共服务设施极为稀缺，人口密度低，农田连绵分布且利用率高，植被覆盖率高，呈现典型的乡村景观特征。

图 11e 所在区域隶属于长江新城，自 2022 年正式批复以来大量建设项目落户于此，土地流转规模大，商服设施主要围绕新建居民点修建，为本区域居民提供餐饮、快递和汽车维修等日常服务，数量少、规模小。图 11f 位于黄陂区石道线上，其中漊口中心小学于 2018 年改建翻新，西侧建有仓储市场，东侧保留有部分自建房，北侧分布有小块农田，道路沿线商服设施稀少，路旁副食店具有集营业、居住、生活为一体的功能。图 11g 的贾岭村位于严西湖西畔，为加快公共卫生服务设施建设，该区域被划拨给武东医院，已完成部分拆迁工作，西侧精神卫生康复中心建设已动工，东侧村民搬迁后留下了小块菜地和破旧的房屋。图 11h 位于光谷生物城，考察显示，正在建设的中建星光城内部设有还建房，其南面为生物创新园二期的施工地块，该区域计划打造成集研发、生产、物流、生活等为一

体的生物产业新城，大量宅基地、农业用地已转为建设用地，相关配套设施正处于开发建设阶段。图 11i 位于大桥新区邢远长村，该地区已建成连片的工业园和高楼，但拆迁待建区仍留存有小块荒废的菜园，垃圾遍地、杂草丛生，部分村民仍保留传统的农耕生活。实地考察显示，上述区域在景观上呈现菜园、工业园、低密度自建房、高密度住宅小区、新建商业公服设施、在建地块等交错分布的特征，土地利用类型多样，人口和植被密度介于城市核心区和乡村之间，处于乡村向城市的转型阶段，与文中划定的城乡结合部相匹配。

## 5 结语

准确划定城乡结合部空间范围，对于把握城乡空间结构、控制城市无序蔓延、促进城乡融合发展具有重要意义，与新一轮国土空间规划中破除壁垒、统筹城乡、生态建设等规划理念不谋而合。本研究针对以往城乡结合部划分数据源选取单一、获取困难、识别结果时空分辨率低的问题，将 POI 和夜间灯光融合数据应用到城乡结合部空间划定中，识别出的结果在客观性、时效性、精度方面提升较大。主要结论如下：

(1) NPP&POI 综合指数应用于城乡结合部空间划定研究，既能发挥 POI 的属性与微观优势潜力，综合设施类型与光照强度之间的差异，减轻夜间灯光的“饱和”、“溢出”效应，又能利用夜光遥感从大尺度上把控城乡发展方向，减少破碎、孤立图斑，保证识别结果的连续性，相较于单独采用 POI、夜间灯光和人口密度数据准确度更高、时效性更强。

(2) NPP&POI 能够定量识别出城乡潜在中心区与多层结构。武汉市城乡结合部面积为 1482.35km<sup>2</sup>，占武汉市总面积的 17.30%，围绕城市核心区主体呈现“六轴两环”的带状式与跳跃式的分布特征。武汉市城市核心区呈现“一主多核”的形态，乡村地区广泛分布于武汉市外围，呈现连绵式片状分布特征。该特性表明，NPP&POI 相较于人口统计、土地利用、景观等数据更能表征城乡发展活力，识别结果对于城市基础设施的配置、产业分工、生态职能划分等研究具有重要参考意义。

(3) NPP&POI 综合指数在城乡空间上呈现二次突变规律。第一次突变出现在城市核心区与城乡结合部之间，随着距城市核心区距离增加，NPP&POI 呈现急聚下降的趋势。第二次突变出现在城乡结合部与乡村之间，随着距城乡结合部距离增加，NPP&POI 等值面面积累积值呈现急剧上升的趋势。该规律证实城乡结合部作为城市扩张过程中产生的地域实体客观存在，具有空间的连续性，经济、人口、土地等要素的过渡性和内部特征的一致性，对于城乡空间结构研究中关于三元与二元模式的探讨具有实证意义。

本研究仅以武汉市为例，对 NPP&POI 的城乡空间变化规律进行探讨并划定了其城乡结合部空间范围，未来数据丰富后将对不同面积、人口和经济发展状况的城市进行比较分析探讨其普适性。NPP&POI 虽然能对自然景观与人为景观进行区分，但在农用地、生态用地等自然区域内部数值极低，该类区域的空间从属关系还需要深度探讨。NPP&POI 能够表征城乡发展活力，获取便利、更新周期短，如果能够采用机器学习等方法构建不同时点的城乡结合部空间范围，对于剖析城市扩张速度与方向、城市收缩等问题意义重大。

## 参考文献：

- [1] Chen Hongsheng, Li Zhigang, Wang Xingping. The Construction of Urban-Rural Dual Structure from a Central-Local Government Perspective: Study on the Evolution of Urban and Rural China from the First Five-year Plan to the Twelfth Five-year Plan. *Urban Planning International*, 2016, 31(6): 62-67+88(陈宏胜, 李志刚, 王兴平. 中央—地方视角下中国城乡二元结构的建构——“一五计划”到“十二五规划”中国城乡演变分析. *国际城市规划*, 2016, 31(6): 62-67+88)
- [2] Liu Yu, Feng Jian. Analysis on execution and change of regional function of agriculture in rural-urban fringe: A case study of Beijing. *Geographical Research*, 2017, 36(4):673-683(刘玉, 冯健. 城乡结合部农业地域功能实现程度及变化趋势—以北京为例. *地理研究*, 2017, 36(4):673-683)
- [3] Sujuan Zhong, Mingshu Wang, Yi Zhu, et al. Urban expansion and the urban-rural income gap: Empirical evidence from China. *Cities*, 2022, 129(10)
- [4] Bryant C, Russwurm LH. The Impact of Non-Farm Development on Agriculture: A Synthesis. *PlanCanada*, 1979, 19(2): 122-139
- [5] Gu C L, Chen T, Ding J H, et al. The study of the urban fringes in Chinese megalopolises. *Acta Geographica Sinica*, 1993, 48(4): 317-328
- [6] Zhang Jianming, Xu Xueqiang. Review And Perspective Of The Studies On Rural-Urban Fringe. *Human Geography*, 1997, (3): 9-12(张建明, 许学强. 城乡边缘带研究的回顾与展望[J]. *人文地理*, 1997, (3): 9-12)
- [7] Sharp J S, Clark J K. Between the country and the concrete:rediscovering the rural-urban fringe. *City & Community*, 2008, 7(1): 61-79.
- [8] Zhao Huafu, Zhu Yuhuan, Wu Kening, et al. Study on the Method for the Demarcation of Urban-rural Fringe Based on Land Use Dynamic Indicator. *China Land Sciences*, 2012, 26(9): 60-65(赵华甫, 朱玉环, 吴克宁, 胡晓涛. 基于动态指标的城乡交错带边界界定方法研究. *中国土地科学*, 2012, 26(9): 60-65)

- [9] Huang Xiang. Boundary Division of Urban-rural Fringe Based on Comprehensive Landscape Index. *Geospatial Information*, 2015, 13(4): 7-9+11(黄祥. 基于综合景观指数的城乡结合部边界划分. *地理空间信息*, 2015, 13(4): 7-9+11)
- [10] Wu jinghang, Gui Zhipeng, Shen Li, et al. Population Spatialization by Considering Pixel-Level Attribute Grading and Spatial Association. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(9): 1364-1375 (吴京航, 桂志鹏, 申力, 等. 顾及格网属性分级与空间关联的人口空间化方法. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2022, 47(9): 1364-1375)
- [11] Li Fei, Yan Qingwu, Zou Yajing, et al. Extraction accuracy of urban built-up area based on nighttime light data and POI: a case study of Luojia 1-01 and NPP/VIIRS nighttime light images. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(6): 825-835(厉飞, 闫庆武, 邹雅婧, 等. 利用夜间灯光 POI 的城市建成区提取精度研究——以珞珈一号 01 星和 NPP/VIIRS 夜间灯光影像为例. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2021, 46(6): 825-835)
- [12] Liu Pengfei, Wang Qing, Zhang Dandan, et al. An Improved Correction Method of Nighttime Light Data Based on EVI and WorldPop Data. *Remote Sensing*, 2020, 12(23)
- [13] Han Yongshun, Wang Wenjuan, Zhang Dongshui, et al. A Population Spatialization Method Based on Regional Differentiations in Population and Actual Housing Vacancy——Taking the Yalong River Basin of China as an Example. *Mountain Research*, 2022, 40(2): 303-316(韩用顺, 王文娟, 张东水, 等. 一种基于分区和识别真实居住区的人口空间化方法——以雅砻江流域为例. *山地学报*, 2022, 40(2): 303-316)
- [14] Lloyd Christopher T, Sorichetta Alessandro, Tatem Andrew J. High resolution global gridded data for use in population studies. *Scientific data*, 2017, 4(1).
- [15] Lin Danchun, Tan Min, Liu Kai, et al. Accuracy Comparison of Four Gridded Population Datasets in Guangdong Province, China. *Tropical Geography*, 2020, 40(2): 346-356(林丹淳, 谭敏, 刘凯, 等. 代表性人口空间分布数据集的精度评价——以 2010 年广东省为例. *热带地理*, 2020, 40(2): 346-356)
- [16] Xiao Dongsheng, Wang Ning, Liu Zhicheng. Accuracy of Representative Population Grid Data Set in Arid Areas: A Case of Gansu Ningxia Qinghai Region. *Arid Land Geography*, 2022, 1-16. (肖东升, 王宁, 刘志成. 干旱地区“代表性人口格网数据集”精度研究——以甘宁青地区为例. *干旱区地理*, 2022, 1-16.)
- [17] Zhu Shoujie, Du Shihong, Lijun, et al. Estimating population distribution in cities and towns through fusing multi-source spatial data. *Journal of Geo-Information Science*, 2020, 22(8): 1607-1616(朱守杰, 杜世宏, 李军, 等. 融合多源空间数据的城镇人口分布估算. *地球信息科学学报*, 2020, 22(8): 1607-1616)
- [18] Handong Liang, Zhongyang Guo, Jianping Wu, et al. GDP spatialization in Ningbo City based on NPP/VIIRS night-time light and auxiliary data using random forest regression. *Advances in Space Research*, 2020, 65(1): 481-493

- [19] Yangyang, Huang Qingxu, Zhang Liling. The spatial-temporal measurement on the land urbanization level using DMS/OLS nighttime light data—a case study of Bohai Rim. *Economic Geography*, 2015, 35(2): 141-148+168(杨洋, 黄庆旭, 章立玲. 基于 DMS/OLS 夜间灯光数据的土地城镇化水平时空测度研究——以环渤海地区为例. *经济地理*, 2015, 35(2): 141-148+168)
- [20] Zhou Y, Smith S J, Elvidge C D, et al. A cluster-based method to map urban area from DMS/OLS nightlights. *Remote Sensing of Environment*, 2014, 147: 173-185
- [21] Zhou Liang, Zhao Qi, Yang Fan. Identification of urban agglomeration boundary based on POI and NPP/VIIRS night light data. *Progress in Geography*, 2019, 38(6): 840-850(周亮, 赵琪, 杨帆. 基于 POI 与 NPP/VIIRS 灯光数据的城市群边界定量识别. *地理科学进展*, 2019, 38(6): 840-850)
- [22] Zheng Muchen, Xu Gang, Xiao Rui, et al. Distance decay of nighttime lights from urban centers and its application. *Progress in Geography*, 2022, 41(7): 1251-1260(郑沐辰, 许刚, 肖锐, 等. 城市夜间灯光强度空间衰减规律及应用. *地理科学进展*, 2022, 41(7): 1251-1260)
- [23] Zhang Zhigang, Zhang Anming, Guo Huanhuan. Pattern and Process of Urbanization in the Yangtze Delta Based on DMS/OLS Data. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2016, 32(6): 37-42(张志刚, 张安明, 郭欢欢. 基于 DMS/OLS 夜间灯光数据的城乡结合部空间识别研究——以重庆市主城区为例. *地理与地理信息科学*, 2016, 32(6): 37-42)
- [24] Yang J, Li X, Li S, et al. The woody plant diversity and landscape pattern of fine-resolution urban forest along a distance gradient from points of interest in Qingdao. *Ecological Indicators*. 2021, 122: 107326
- [25] Zhang Jingqi, Shi Wenbao, Xiu Chunliang. Urban research using points of interest data in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(1): 140-148(张景奇, 史文宝, 修春亮. POI 数据在中国城市研究中的应用. *地理科学*, 2021, 41(1): 140-148)
- [26] Xu Zening, Gao Xiaolu. A novel method for identifying the boundary of urban built-up areas with POI data. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(6): 928-939(许泽宁, 高晓路. 基于电子地图兴趣点的城市建成区边界识别方法. *地理学报*, 2016, 71(6): 928-939)
- [27] Zhou De, Zhong Wenyu, Zhou Ting, et al. Assessment on urban mixed land use and analysis of its influencing factors based on POI data: a case of the main districts of Hangzhou City China. *Land Science*. 2021, 35(8): 96-106(周德, 钟文钰, 周婷, 等. 基于 POI 数据的城市土地混合利用评价及影响因素分析——以杭州市主城区为例. *中国土地科学*, 2021, 35(8): 96-106)
- [28] He Xiong, Zhou Chunshan, Zhang Jun, et al. Using Wavelet Transforms to Fuse Nighttime Light Data and POI Big Data to Extract Urban Built-Up Areas. *Remote Sensing*, 2020, 12(23): 3887
- [29] Li Qiang, Li Xiaobo, Liu Jianfeng. Analysis and assessment of the mode of planning and construction and

design of land use guidance in rural-urban continuum. *Areal Research and Development*, 2015, 34(5): 143-147(李强, 李小波, 刘剑锋. 城乡结合部规划建设模式评析与土地利用导向设计. *地域研究与开发*, 2015, 34(5): 143-147)

[30] Chen Wei, Xiao Zhizhong, Lin Jianwei, et al. Wuhan's exploration on transformation from multi-plan integration to spatial planning reform: reflections on the new round of the city master plan of Wuhan. *City Planning Review*, 2018, 42(z2): 32-37(陈韦, 肖志中, 林建伟, 等. 武汉从“多规合一”向空间规划改革的探索——基于武汉市新一轮城市总规修编的思考. *城市规划*, 2018, 42(z2): 32-37)

[31] Minjie. Study on the feature and spatial-temporal regulation of rural-urban land conversion. *Huazhong Agricultural University*, 2007(闵捷. 农地城市流转特征与时空规律研究. 华中农业大学, 2007)

[32] Yang Xiping, Fang Zhixiang, Zhao Zhiyuan, et al. Analyzing Space-Time Variation of Urban Human Stay Using Kernel Density Estimation by Considering Spatial Distribution of Mobile Phone Towers. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(1): 49-55(杨喜平, 方志祥, 赵志远, 等. 顾及手机基站分布的核密度估计城市人群时空停留分布. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2017, 42(1): 49-55)

[33] Zhang Ning, Fang Linna, Zhou Jie, et al. The study on spatial expansion and its driving forces in the urban fringe of Beijing. *Geographical Research*, 2010, 29(3): 471-480(张宁, 方琳娜, 周杰, 等. 北京城市边缘区空间扩展特征及驱动机制. *地理研究*, 2010, 29(3): 471-480)

[34] Liu Wanzeng, Lu Chenni, Huo Liang, et al. Selection Method of Residential Point Features Constrained by Optimal Information Entropy. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(8): 1178-1185(刘万增, 陆辰妮, 霍亮, 等. 最优信息熵约束的居民地点状要素选取方法. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2021, 46(8): 1178-1185)

[35] Jian Peng, Yina Hu, Yanxu Liu, et al. A new approach for urban-rural fringe identification: Integrating impervious surface area and spatial continuous wavelet transform. *Landscape and Urban Planning*, 2018, (175): 72-79

#### 网络首发:

**标题:** POI和夜间灯光融合数据用于城乡结合部空间划定的研究——以武汉市为例

**作者:** 孟滢滢, 周思曩, 聂艳, 曾怀文, 于婧

**DOI:** 10.13203/j.whugis20220597

**收稿日期:** 2023-06-04

#### 引用格式:

孟滢滢, 周思曩, 聂艳, 等. POI和夜间灯光融合数据用于城乡结合部空间划定的研究——以武汉市为例[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2023, DOI: 10.13203/j.whugis20220597 (Meng Yingying, Zhou Size, Nie Yan, et al. Spatial Delimitation of the Urban-Rural Fringe Based on POI and

Nighttime Light Data: A Case Study of Wuhan City[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2023, DOI: 10.13203/j. whugis20220597)

**网络首发文章内容和格式与正式出版会有细微差别，请以正式出版文件为准！**

---

**您感兴趣的其他相关论文：**

珞珈一号夜间灯光影像在建设用地图提取中的应用：以武汉市为例

刘权毅, 詹庆明, 李建松, 杨晨, 刘稳

武汉大学学报（信息科学版），2021, 46(1): 30-39

<http://ch.whu.edu.cn/cn/article/doi/10.13203/j.whugis20190376>

