

引用格式: Tang Qiandi, Wang Chisheng, Wang Yongquan, *et al.* Preliminary Study on Light Pollution Monitoring based on Volunteered Passenger Aircraft Remote Sensing[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2020, 35(6): 1360-1367. [唐倩迪, 汪驰升, 王永全, 等. 志愿者民航客机夜光遥感光污染监测初步研究[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(6): 1360-1367.]  
doi: 10.11873/j.issn.1004-0323.2020.6.1360

## 志愿者民航客机夜光遥感光污染监测初步研究

唐倩迪<sup>1</sup>, 汪驰升<sup>2,3</sup>, 王永全<sup>2</sup>, 宿瑞博<sup>1</sup>, 江锦成<sup>4</sup>, 崔红星<sup>2</sup>

(1. 深圳大学 土木与交通工程学院, 广东 深圳 518060;

2. 深圳大学 建筑与城市规划学院 自然资源部大湾区地理环境监测重点实验室, 广东 深圳 518060;

3. 深圳大学 建筑与城市规划学院 广东省城市空间信息工程重点实验室, 广东 深圳 518060;

4. 中国科学院深圳先进技术研究院, 广东 深圳 518055)

**摘要:** 夜光影像分辨率低、时效性差等问题是夜光遥感光污染研究发展的一大阻力。对此应用一种新型的夜光遥感数据获取方式——志愿者民航客机遥感(VPARS)来采集长沙市高分辨率夜光遥感数据, 结合长沙市2018年商业POI数据, 对光污染来源及特征进行分析, 探索了VPARS方法在光污染研究领域的初步应用。结果表明: 志愿者民航客机遥感可以有效获取城市小尺度的高精度夜光遥感数据, 在光污染监测应用方面具备很大潜力。对长沙市VPARS夜光数据的初步分析结果显示, 长沙市购物服务、生活服务、餐饮服务类POI发光比例高, 亮度系数高于平均值, 是长沙市光污染的主要来源; 出行服务类、公共服务设施类POI虽发光比例低, 但亮度系数达到最大值1.82, 光污染程度较高; 长沙市光污染呈商业区聚集及城市核心聚集模式。

**关键词:** 城市光污染; 夜光遥感; 志愿者民航客机遥感; 空间分析; 长沙市

**中图分类号:** TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2020)06-1360-08

### 1 引言

随着夜间照明设施的普及, 人造光带来的危害渐渐显现, 夜间灯光成为近年来研究的热门课题<sup>[1-2]</sup>。人类目前对光污染的影响还了解较少, 但已有研究表明, 光污染强度与癌症发病率<sup>[3]</sup>、肥胖<sup>[4]</sup>、青少年夜晚型人格的形成<sup>[5]</sup>具有显著相关性; 过度照明会影响海龟的筑巢<sup>[6]</sup>, 改变野生动物行为活动<sup>[7]</sup>, 对生态系统具有一定负面影响<sup>[8-9]</sup>。户外照明是城市光污染的主要来源<sup>[10-11]</sup>, 早在2001年, 全球已有19%的陆地面积光照强度高于污染状态的光照阈值, 21%的人类活动区域受天空辉光的影响而无法观测星空<sup>[12]</sup>。光污染的监测研究, 对于生态环

境可持续发展及人类生活环境的改善具有重大的意义。

目前光污染研究方法主要有3种: 第一, 地面调查。Luginbuhl等<sup>[13]</sup>通过地面调查统计美国亚利桑那州弗拉格斯塔夫城区的室外光源数目, 检测不同光源产生的光量, 以此估算人为天空辉光, 其中商业照明(36%)、体育场地照明(32%)、道路照明(12%)及住宅区照明(9%)是人为天空辉光的主要来源。该方法是确定光污染源最直接的方法, 但需要大量人力, 且观测范围小。第二, 通过夜光遥感技术在较大的空间范围内开展光污染分布调查<sup>[14]</sup>。夜光遥感系统美国军事气象卫星计划(Defense Meteorological Satellite Program's Operational Line

收稿日期: 2019-09-20; 修订日期: 2020-11-10

基金项目: 深圳市科创委研究项目(KQJSCX20180328093453763、JCYJ20180305125101282), 国家自然科学基金项目(41974006、41701452), 广东省教育厅特色创新项目(2018KTSCX196)。

作者简介: 唐倩迪(1995—), 女, 广西桂林人, 硕士研究生, 主要从事夜光遥感分析及应用研究。E-mail: 1810333010@email.edu.cn

通讯作者: 汪驰升(1988—), 男, 江西抚州人, 助理教授, 主要从事雷达数据分析及应用研究。E-mail: wangchisheng@szu.edu.cn

Scan System, DMSP/OLS) 获取的夜光影像, 可获知天空亮度的位置差异性。Bennie 等<sup>[15]</sup> 曾用 DMSP/OLS 夜光数据分析欧洲 15 a 来光污染的时空变化, 发现 15 a 间欧洲城市光亮度增加, 但东欧及西欧、北欧部分发达国家的光污染程度局部减少。武汉大学研制的珞珈一号卫星采集的夜光影像分辨率有所提高, Jiang 等<sup>[16]</sup> 评估了珞珈一号夜光数据检测人造光污染的能力, 讨论不同土地利用类型的人造光亮度差异性, 其中机场、道路及商业区亮度较高, 人造光亮度远离城市中心而降低。卫星遥感数据的分辨率低, 空间信息缺乏, 不能追溯光源及评价光污染程度。第三, 通过航拍的夜光图像对光污染源进行空间分析。Hellga 等<sup>[17]</sup> 利用底部装配了拍摄设备的飞机, 飞过研究区域上空采集高分辨率夜光数据, 结合土地利用数据, 确定德国柏林光污染的主要来源, 发现道路照明是天空辉光的主要来源。该方法弥补了卫星图像分辨率低的缺陷, 但航拍成本高, 数据不易获取, 拍摄区域范围小、耗时长, 时效性欠佳。

本研究利用志愿者民航客机遥感方法<sup>[18]</sup> (Volunteered Passenger Aircraft Remote Sensing, VPARS) 采集长沙市夜间灯光影像。夜间搭乘飞机飞过长沙市上空时, 在视野较好的窗边使用便携拍摄设备多角度拍摄市区倾斜图像, 后结合多视角图像去除云层, 并利用计算机视觉算法<sup>[19]</sup> 将图像处理成具有米级分辨率、近 1 个像素几何精度的可用数据。参考相关学者利用 (Point of Interest, POI)<sup>[20]</sup> 兴趣点对各类城市问题的研究方法<sup>[21-23]</sup>, 随后将 POI 数据引入到对光源信息提取分析研究中, 获取精细的城市光污染空间信息, 分析光污染来源及模式, 验证民航客机遥感方法获取夜光图像监测城市光污染的可能性。研究提取了长沙市 VPARS 夜光遥感数据, 发挥 VPARS 数据高分辨率的优势特点, 进一步融合城市兴趣点对光源信息进行提取, 将光污染研究从“面”降维至“点”, 研究结果为长沙市治理过度照明、缓解光污染提供参考。

## 2 研究区概况

长沙市位于湖南省东部偏北, 是长江中游城市群和长江经济带中重要的节点城市, 辖 6 个区, 1 个县。2018 年, 长沙市常住人口 815.47 万, 城市化率 77.59%。研究区从 28.04° N 延伸到 28.40° N, 112.73° E 延伸到 113.24° E, 是面积为 992.3 km<sup>2</sup> 的

不规则区域, 占长沙市区总土地面积 80.4%, 覆盖长沙市 5 个中心城区, 包括芙蓉区、雨花区、天心区、岳麓区和开福区 (图 1)。

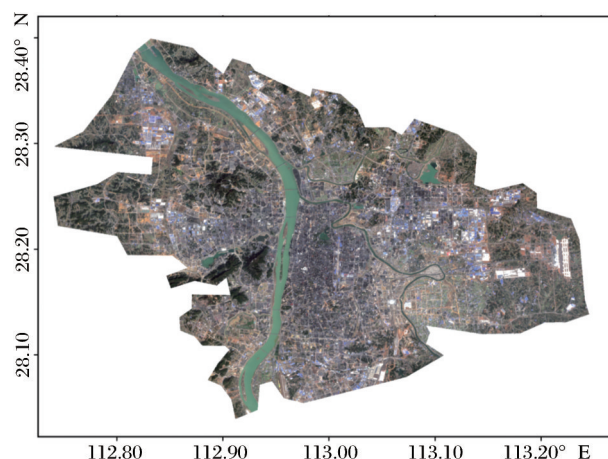


图1 研究区域示意图

Fig.1 Image of study area

## 3 数据与研究方法

### 3.1 数据来源

研究采用的数据包括长沙市 VPARS 夜光遥感影像、长沙市商业 POI 数据。于 2018 年 6 月 29 日夜由北京飞往深圳的 HU7701 次航班上, 利用传感器为 CMOS 的 iPhone X 手机拍摄 4 幅覆盖长沙市的图像数据, 后将其处理成夜光遥感数据; 从专业类服务网站抓取商业 POI 数据, 对无效、重复点进行剔除后, 利用纠偏系统对其进行处理, 满足本研究的位置精度要求。

### 3.2 研究方法

#### 3.2.1 夜光遥感影像处理

VPARS 夜光影像生成主要分为 3 个步骤: 首先是数据采集, 并将图像位置和相机内部参数初始化。其次, 通过 SfM (Structure from Motion) 来进行三维重建, 优化相机的位置和方向。最后, 根据得到的相机参数和三维点云, 对原始照片进行正射校正和拼接, 得到遥感产品<sup>[18]</sup>。

(1) 图像参数获取。稀疏点云的构建需要相机位置信息和相机内部定向参数, 但乘客在客机飞行过程中不可开启手机 GPS 定位功能, 拍摄的图像通常缺少定位信息。本文从 FlightAware 网站下载该次航班的飞行轨迹数据, 采用线性插值的方法获取飞行时段内每秒的 GPS 信息, 并与图像拍摄时间信息匹配后得到相机拍摄时的经度、纬度及海拔信

息。相机内参可从图像EXIF头文件获得。

(2) 夜光遥感影像生成。所需参数获取后,利用 Agisoft Metashape 软件,基于计算机视觉领域中的 SfM 算法对原始图像进行处理,基于多视角几何原理,将时间系列的二维图像进行三维重建。该算法已经比较成熟,其主要流程包括:①图像特征点提取及匹配;②估计相机参数;③生成 3D 点云<sup>[24]</sup>。

由于采集的为倾斜图像,所得到的稀疏点云会产生较大的几何偏移,将图像和 Google Earth 进行对比,手动选取道路交叉口等特征较明显的同名点作为地面控制点 (Ground Control Point, GCP) 对点云进行纠正。GCP 的坐标从 Google Earth 中标记的信息获得,高程信息利用 ArcGIS 对星载热辐射和反射辐射计 (ASTER) 30 m 分辨率全球数字高程模型 (GDEM) 进行提取。

VPARS 对 SfM 算法获取的密集点云进行插值,手动删除噪声点,以光栅图像的形式生成数字表面模型 (Digital Surface Model, DSM)。基于 DSM 和各个相机位置,将多幅影像矫正为正射影像。为减少畸变,利用 GDEM 替代密集点云生成的 DEM。最后使用频域方法将正射影像拼接成研究区的完整夜光遥感影像数据<sup>[25]</sup>。

### 3.2.2 POI 数据处理

POI 数据具有详尽的社会经济属性分类信息。本文首先对 POI 数据进行筛选,剔除噪声数据、室内属性的数据及研究区外的数据,然后对第一级分类进行整理归纳 (表 1),最终得到 14 类、412 806 条有效的 POI 数据。

表 1 POI 分类表

Table1 Classification table of POI

代码序号	名称	代码序号	名称
01	餐饮	08	汽车服务
02	购物	09	教育
03	住宿	10	医疗
04	出行	11	旅游
05	文体娱乐	12	企事业单位
06	金融服务	13	行政机构
07	生活服务	14	公共服务设施

### 3.2.3 光污染信息提取

(1) POI 亮度系数估算。Kuechly 等<sup>[17]</sup>在柏林光污染来源空间分析中提出亮度系数概念。本研究测算的 POI 亮度系数指 POI 对应像元的 DN 值与整个研究区夜光影像的平均 DN 值的比值,其公式表

示为:

$$k_i = \frac{(DN)_i}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (DN)_i} \quad (1)$$

其中:  $k_i$  指第  $i$  点的亮度系数,  $(DN)_i$  指该 POI 点对应像元的 DN 值,研究区共有  $n$  个像元。

某类 POI 的亮度系数取该类 POI 亮度系数均值,体现该类 POI 的发光程度。亮度系数仅用于比较不同类别 POI 的辐射强度,而不考虑 POI 数量的影响。在夜间空中观测时,亮度系数高的区域容易被观测,例如,亮度系数=1.5 的 POI 类型像元亮度是研究区域像元平均亮度的 1.5 倍。其公式表示为:

$$l_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m k_i \quad (2)$$

其中:  $l_j$  为第  $j$  类 POI 的亮度系数,该类 POI 共对应  $m$  个像元点。

(2) POI 发光比例提取。定义 POI 发光比例为该种 POI 的总 DN 值占研究区内所有 POI 的总 DN 值比例,体现该类型 POI 对城市光污染的影响程度,其公式为:

$$p_j = \frac{\sum_{i=1}^m (DN)_i}{\sum_{j=1}^{14} (DN^*)_j} \quad (3)$$

其中:  $p_j$  表示第  $j$  类 POI 的发光比例,  $(DN^*)_j$  表示第  $j$  类 POI 的总 DN 值。

## 4 结果与分析

### 4.1 PARS 夜光遥感影像数据分析

#### 4.1.1 数据优势分析

研究区域的 VPARS 夜光遥感影像 (图 2) 路网结构清晰,覆盖长沙市区内所有发光区域。

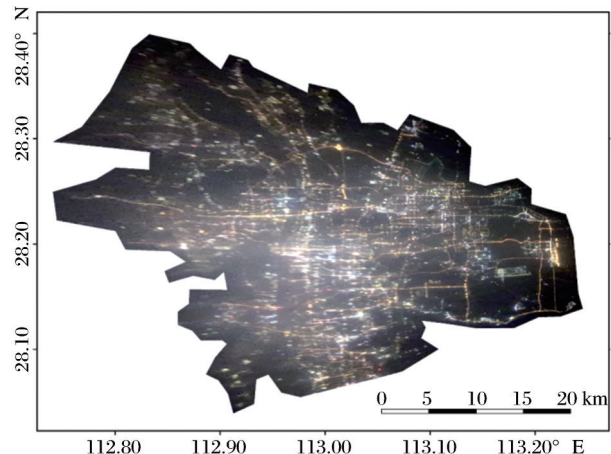


图 2 研究区夜光影像

Fig.2 The nighttime light imagery of study area



VPARS 夜光影像数据在空间分辨率、波段及时效性方面与传统遥感卫星影像数据相比,具有一定的优势,如表 2 所示。

表 2 参数表

Table 2 Parameter table

影像来源	空间分辨率/m	波段	重访周期
DMSP/OLS	2 700	1	12 小时
NPP/VIIRS	742	1	12 小时
Luojia 1—01	130	1	15 天
VPARS	8.7	3	灵活

(1) 在分辨率方面,根据地面采样分辨率 (Ground Sample Distance, GSD) 计算公式可计算影像空间分辨率,公式如下:

$$GSD = \frac{\text{飞行高度} \times \text{传感器尺寸}}{\text{镜头焦距} \times \text{像素尺寸}}$$

(4)

其中所需相机参数可从图像 EXIF 头文件获得。由于采集的为倾斜图像,式中飞行高度近似计算为传感器与地物间的距离(图 3),空间分辨率随着距离变化而变化,选取计算所得最大最小分辨率的均值为 VPARS 影像的空间分辨率。

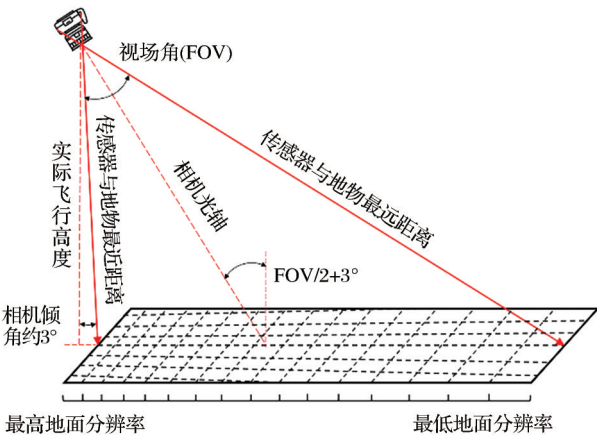


图 3 计算参数示意图

Fig.3 Schematic diagram of calculation parameters

计算得到研究区 VPARS 夜光影像分辨率为 8.682 5 m,与 DMSP/OLS 夜光数据相比,VPARS 所拍摄的夜间图像分辨率约高 310 倍;与 NPP-VIIRS 数据相比,空间分辨率约高 100 倍;比武汉大学研制的珞珈一号卫星采集的夜光数据分辨率约高 16 倍。如图 4,VPARS 夜光数据具有更多细节信息。光污染研究中,高分辨率有利于更精确地确定光污染来源及程度,提高研究的准确度。

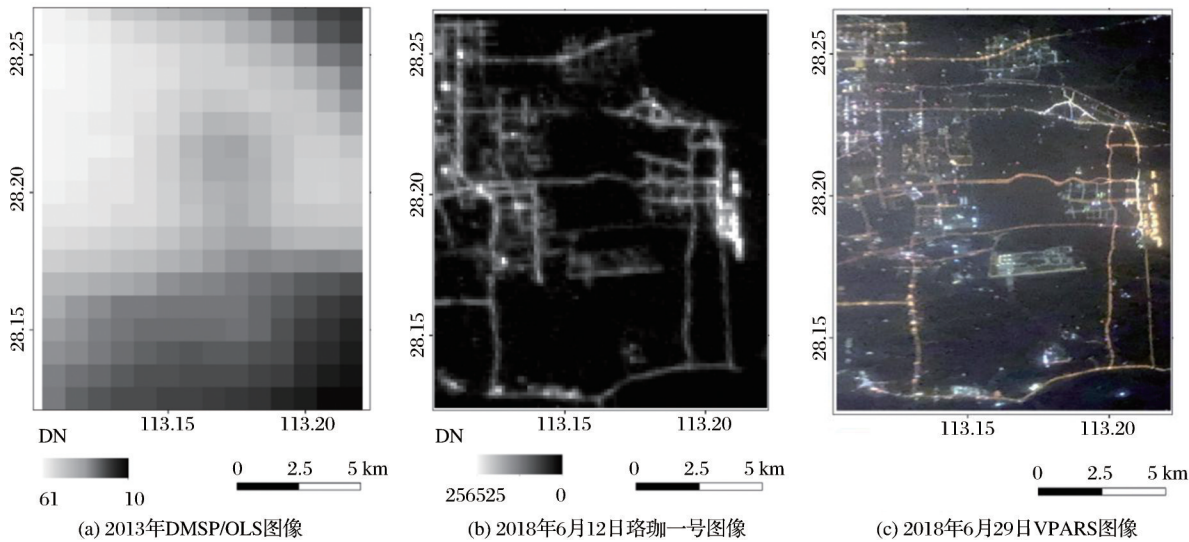


图 4 DMSP/OLS、珞珈一号及 PARS 采集的长沙黄花机场附近夜光图像

Fig.4 Nighttime imagery from DMSP-OLS, Luojia 1 and VPARS in Changsha Huanghua Airport

(2) 在波段方面,传统夜光遥感卫星由于传感器限制,获取的图像数据为单波段,而 VPARS 方法获取的夜光遥感影像含有 3 个波段,丰富了城市夜间灯光数据的色彩信息,增加了宏观角度下监测城市夜间彩光污染<sup>[26]</sup>的可能性。

(3) 在时效性方面,VPARS 方法没有固定周期,仅受航线与天气影响。目前,全球客机航线繁

多且重访周期短,可保证图像数据的丰富性、时效性。同时间段内获取同地区多个不同角度的影像,可有效去除图像中的浮云、保障图像数据质量。

4.1.2 几何精度验证

光污染研究对遥感影像几何定位精度有较高要求,本研究借助一组位于道路交叉口处的地面控制点 (Ground Control Point, GCP) 与 Google Earth

高分辨率卫星图像上的同名点进行校准。除了用于校准图像选取的 20 个 GCP 以外,利用 13 个 GCP 作为验证点来为评估正射影像的几何定位精度,得到控制点和验证点的均方根误差(RMSE)值分别为:1.277 个像元、1.035 个像元,影像边缘误差较大。几何定位精度可通过在校准过程中增加控制点来提高。

4.1.3 亮度分析

对长沙市的 VPARS 夜光影像进行重采样至珞珈一号数据的分辨率,将两影像 DN 值至进行归一化处理后制作散点图如图 5 所示。珞珈一号影像辐射动态范围较广,但从相关系数来看,在研究区范围内,VPARS 夜光影像与珞珈一号影像亮度的空间一致性较高,具有相同趋势。

珞珈一号有更高的辐射动态范围,强光解译能力较强。VPARS 影像 DN 值范围为 0~255,容易出现过饱和现象。经统计,长沙市 VPARS 夜光影像仅有少部分区域过饱和。今后研究可通过调整图像采集时相机曝光时间、感光度等参数可有效解决该问题。

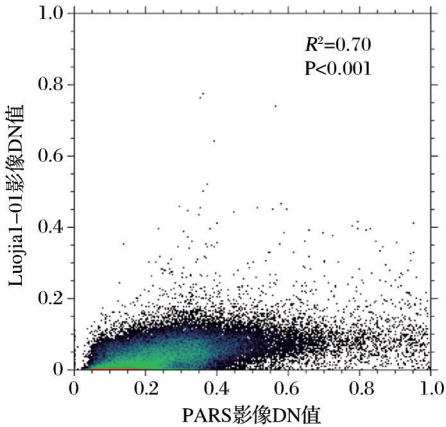


图 5 珞珈一号与 VPARS 影像 DN 值散点图

Fig.5 The scatter plot between Luojia 1 and VPARS

4.2 光污染来源分析

表 3 显示了光污染来源的空间分析结果。对于每种 POI 类型,该表列出其在研究区域内的亮度系数及发光比例。

由表数据可见,不同类型 POI 的发光比例及亮度系数均存在明显差异,表明不同 POI 类型对城市光污染的贡献程度有所不同。

表 3 POI 发光比例及亮度系数

Table3 The brightness factor and brightness ratio of POI

序号	POI 类型	亮度系数	发光比例/%	序号	POI 类型	亮度系数	发光比例/%
1	餐饮服务	1.72	11.62	8	汽车服务	1.55	3.18
2	购物服务	1.76	32.93	9	教育服务	1.70	4.45
3	住宿服务	1.78	5.21	10	医疗服务	1.76	2.80
4	出行服务	1.82	8.91	11	旅游服务	1.69	0.30
5	文体娱乐	1.72	2.64	12	企事业单位	1.46	9.55
6	金融服务	1.65	1.67	13	行政机构	1.74	2.35
7	生活服务	1.75	13.79	14	公共服务设施	1.82	0.62

(1) 在 14 种 POI 分类中,发光比例最高的为购物服务类兴趣点(32.93%),其次是生活服务类与餐饮服务类,分别占研究区域照明的 13.79%、11.62%,这 3 个类别发光量就占了长沙市主要发光区域的 58.34%,且这些类别的 POI 数量占总 POI 数的 57.09%,是长沙市天空辉光的最大来源。

(2) 购物服务、生活服务、餐饮服务类 POI 的亮度系数分别为 1.76、1.75 及 1.72,像素亮度值均较高于平均值 1.71。在这些区域,光源主要为广告灯的招牌照明、临街橱窗照明,这类光源多在建筑外部,对天空辉光有直接的影响。

(3) 出行服务类、公共服务设施类 POI 主要包括停车场、公交站点、公共厕所、报刊亭等设施,亮度系数较高(均为 1.82),但两类发光比例仅占

9.53%。这些区域检测到的光多数来自于道路照明、景观照明,多无建筑物的遮挡,易被直接探测。

表 3 中数据有助于确定治理城市光污染战略的优先顺序。以长沙市为例,购物服务、生活服务、餐饮服务类 POI 是光污染最严重的部分,不仅对长沙市上空辉光影响最大,且比城市大部分区域要明亮,此类区域应为重点治理区域。

4.3 光污染模式分析

POI 将人类活动的空间表达降维为点模式,是高分辨率的社会经济空间数据,可以代表城市地区的人类经济活动<sup>[27]</sup>POI 密度高的区域常变现为人类活动较为活跃的聚集点。

利用 ArcGIS 将长沙市的商业 POI 数据绘制成核密度图(图 6(a))后,观察到天心区五一商圈 POI

密集(图中红圈区域),将该区域DN图(图6(b))与POI核密度图对比,可明显观察到夜间POI高密度区亮度普遍偏高。

针对此现象,本文提取POI数量大于10的像素点与其像元DN值进行回归分析,图6(c)显示夜光数据与商业POI密度有很好的线性关系,POI越密集,该区域亮度越高。该结果表明,长沙市光污染模式为商业区聚集型。

利用ENVI软件提取VPARS夜光影像纬度横断面DN值曲线图(图6(d)),如图显示,DN值总体趋势为朝向城市中心区域增加,远离中心区域降低。

研究区右侧也出现了DN值较高区域,该区域为长沙市黄花机场,由于照明需求的特殊性,在夜间城市上空呈现了较强的亮度。总体趋势表明,长沙市光污染模式呈城市核心聚集性。

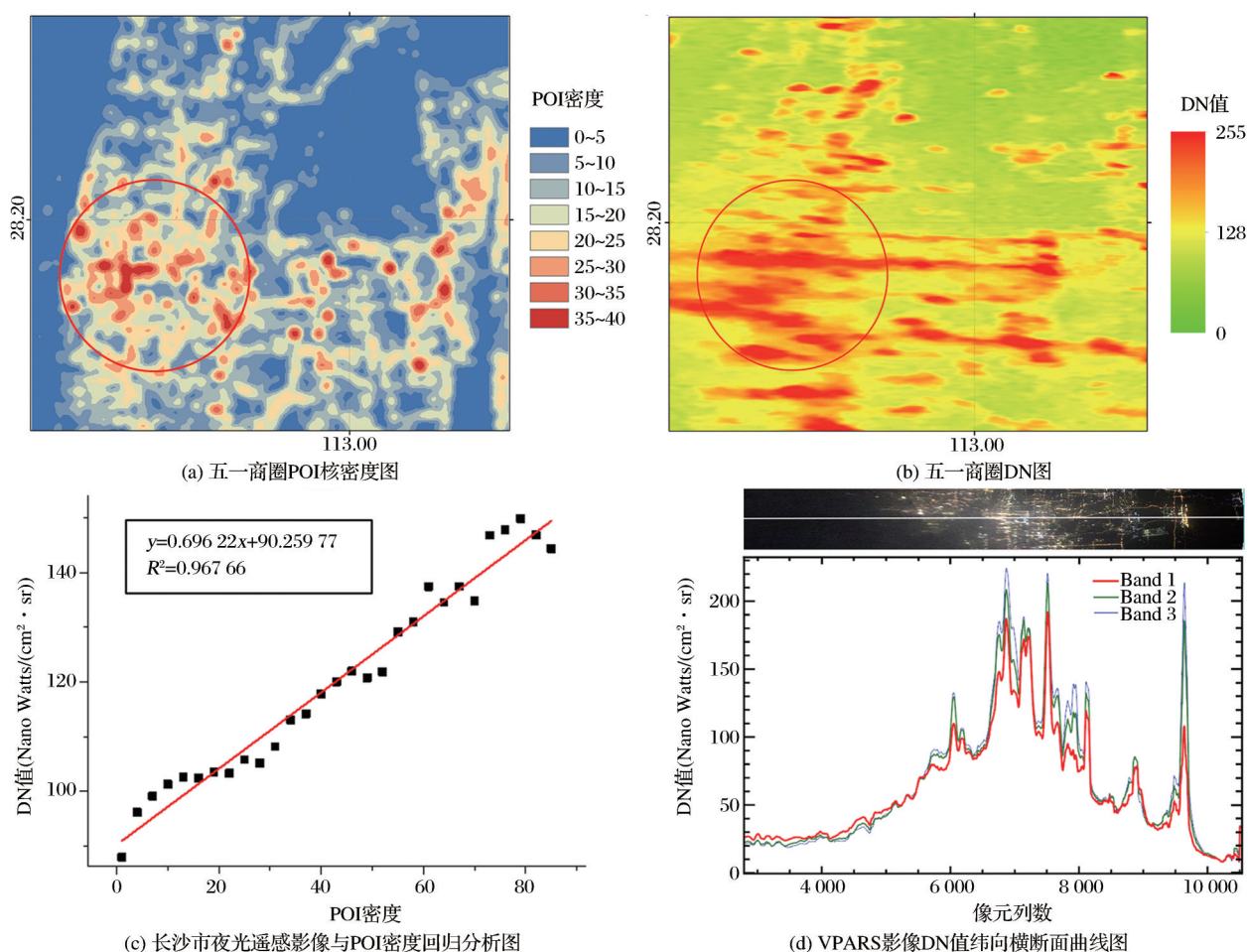


图6 长沙市光污染模式示意图

Fig.6 Schematic diagram of light pollution pattern in Changsha city

## 5 结 语

以长沙市中心城区为研究区域,结合志愿者民航客机遥感(VPARS)夜光数据与长沙市2018年商业POI数据,对长沙市光污染来源及模式进行初步探索,结果表明:

(1) VPARS新型遥感方法获取的夜光数据在城市小尺度光污染分析中具有应用潜力。

(2) 长沙市购物服务、生活服务、餐饮服务类POI是长沙市光污染主要来源。

(3) 长沙市光污染模式呈现商业区聚集性、城市中心聚集性。

研究证实VPARS夜光数据可用于光污染来源研究,但该方法仍存在局限性。第一,由于拍摄角度数据及定位数据存在误差,VPARS遥感影像仍然有少部分区域具有轻微几何畸变;第二,VPARS缺少精确的地面测量数据以进行辐射定标,暂时无法进行更深入的光污染定量分析;第三,存在同一像元下含有多类POI的情况,会对结果造



成一定影响,在后续研究中可通过使用具有更高分辨率的数据采集设备以提高数据分辨率来消除该影像。因此,未来的研究将致力于VPARS夜光影像预处理、提升VPARS影像分辨率。但VPARS方法相对于传统的遥感获取方法,拥有成本低、时效性好、数据多样等优点,尤其是遥感影像具有更高的分辨率,可使光污染的研究具有更广阔的发展前景。例如,VPARS方法可用于研究城市同一夜间不同时段的光污染差异,多波段遥感影像可应用于城市彩光污染分析和彩强光造成的人工白昼污染分析。

#### 参考文献 (References):

- [1] Shi K F, Yu B L, Huang Y X, *et al.* Evaluating the Ability of NPP-VIIRS Nighttime Light Data to Estimate the Gross Domestic Product and the Electric Power Consumption of China at Multiple Scales: A Comparison with DMSP-OLS Data [J]. *Remote Sensing*, 2014, 6(2):1705-1724.
- [2] Chen Z Q, Yu B L, Song W, *et al.* A New Approach for Detecting Urban Centers and Their Spatial Structure With Nighttime Light Remote Sensing[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2017 (99) : 1-15. doi: 10.1109/TGRS.2017.2725917.
- [3] Stevens R G, Brainard G C, Blask D E, *et al.* Breast Cancer and Circadian Disruption from Electric Lighting in the Modern World[J]. *A Cancer Journal for Clinicians*, 2014, 64 (3) : 207-218.
- [4] Wyse C A, Biello S M, Gill J M R. The Bright-nights and Dim-days of the Urban Photoperiod: Implications for Circadian Rhythmicity, Metabolism and Obesity[J]. *Annals of Medicine*, 2014, 46(5):253-263.
- [5] Vollmer C, Michel U, Randler C. Outdoor Light at Night (LAN) Is Correlated with Eveningness in Adolescents [J]. *Chronobiology International*, 2012, 29(4):502-508.
- [6] Hu Z Y, Hu H D, Huang Y X. Association between Nighttime Artificial Light Pollution and Sea Turtle Nest Density along Florida Coast: A Geospatial Study Using VIIRS Remote Sensing Data [J]. *Environmental Pollution*, 2018, 239 (AUG.):30-42.
- [7] Russart K L G, Nelson R J. Artificial Light at Night Alters Behavior in Laboratory and Wild Animals[J]. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 2018, 329(8-9): 401-408.
- [8] Gaston K J, Bennie J, Davies T W, *et al.* The Ecological Impacts of Nighttime Light Pollution: A Mechanistic Appraisal. [J]. *Biological Reviews*, 2013, 88(4):912-927.
- [9] Davies T W, Coleman M, Griffith K M, *et al.* Night-time lighting Alters the Composition of Marine Epifaunal Communities [J]. *Biology Letters*, 2015, 11 (4) : 20150080. doi: 10.1098/rsbl.2015.0080
- [10] Riegel K W. Light Pollution: Outdoor Lighting is a Growing Threat to Astronomy[J].*Science*,1973,179(4080):1285-1291.
- [11] Falchi F, Cinzano P, Duriscoe D, *et al.* The New World Atlas of Artificial Night Sky Brightness[J]. *Science Advances*, 2016, 2(6): e1600377. doi:10.1126/sciadv.1600377.
- [12] Cinzano P, Falchi F, Elvidge C D. The First World Atlas of the Artificial Night Sky Brightness[J]. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2001, 328(3): 689-707.
- [13] Luginbuhl C B, Lockwood G W, Davis D R, *et al.* From the Ground up I: Light Pollution Sources in Flagstaff, Arizona [J]. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 2009, 121(876):185-203.
- [14] Li Deren, Li Xi. An Overview on Data Mining of Nighttime Light Remote Sensing [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*.2015,44(6):591-601.[李德仁,李熙.论夜光遥感数据挖掘[J].*测绘学报*, 2015, 44(6):591-601.]
- [15] Bennie J, Davies T W, Duffy J P, *et al.* Contrasting Trends in Light Pollution across Europe based on Satellite Observed Night Time Lights[J]. *Scientific Reports*, 2014, 4(1): 1-6.
- [16] Jiang W, He G J, Long T F, *et al.* Potentiality of Using Luojia 1-01 Nighttime Light Imagery to Investigate Artificial Light Pollution[J]. *Sensors*, 2018, 18(9) :2900. doi:10.3390/s18092900.
- [17] Kuechly H U, Kyba C C M, Ruhtz T, *et al.* Aerial Survey and Spatial Analysis of Sources of Light Pollution in Berlin, Germany[J].*Remote Sensing of Environment*,2012,126(11): 39-50.
- [18] Wang C S, Wang Y Q, Wang L Y, *et al.* Volunteered Remote Sensing Data Generation with Air Passengers as Sensors [J]. *International Journal of Digital Earth*, 2020(4). doi:10.1080/17538947.2020.1808721.
- [19] Snavely N, Seitz S M, Szeliski R. Modeling the World from Internet Photo Collections [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2008, 80(2):189-210.
- [20] Pan Sidong. Spatial Coupling between Housing Development and Economic Growth based on Night Light Remote Sensing and Residential POI [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2019(5):646-652.[潘思东.基于夜光遥感和小区POI的住宅发展与经济增长的空间耦合研究[J].*地球信息科学学报*, 2017,19(5):646-652.]
- [21] Ren Guoyan. The Agglomeration Characteristics and Influencing Factors of Exhibition Venues in Yangtze River Delt [J], *Economic Geography*,2014,34(9):86-92.[任国岩.长山角会展场馆空间聚集特征及影响因素[J].*经济地理*, 2014, 34 (9):86-92.]
- [22] Zhou Xingang, Yue Yang, Ye Jia'an, *et al.* Uncertainty in Spatial Analysis of Dynamic Data-Identifying City Center [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(6):701-705.[周新刚, 乐阳, 叶嘉安,等.动态数据空间分析的不确定性问题——以城市中心识别为例[J].*武汉大学学报·信息科学版*, 2014, 39(6): 701-705.]

- [23] Zhang Q L, Schaaf C, Seto K C. The Vegetation Adjusted NTL Urban Index: A New Approach to Reduce Saturation and Increase Variation in Nighttime Luminosity [J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 129(2): 32-41.
- [24] Zhang Xuehua, Wang Xiaoqin, Yuan Xiaoxiang. Classification of Typical Building Roof Geometry Types based on Dense Point Clouds of FM Method [J]. Earthquake, 2017, 37(3): 127-137. [张雪华, 王晓青, 袁小祥. 基于 SFM 方法生成的密集点云数据的典型建筑物分类研究[J]. 地震, 2017, 37(3): 127-137.]
- [25] Wang C S, Ke J Z, Xiu W Q, *et al.* Emergency Response Using Volunteered Passenger Aircraft Remote Sensing Data: A Case Study on Flood Damage Mapping [J]. Sensors, 2019, 19(19): 4163. doi: 10.3390/s19194163.
- [26] Wang Yajun. Light Pollution and Prevention Countermeasures [J]. Journal of Safety and Environment, 2004, 4(1): 56-59. [王亚军. 光污染及其防治[J]. 安全与环境学报, 2004, 4(1): 56-59.]
- [27] Yuan J, Zheng Y, Xie X. Discovering Regions of Different Functions in a City Using Human Mobility and POIs [C] // Proceedings of the 18th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2012: 186-194.

## Preliminary Study on Light Pollution Monitoring based on Volunteered Passenger Aircraft Remote Sensing

Tang Qiandi<sup>1</sup>, Wang Chisheng<sup>2,3</sup>, Wang Yongquan<sup>2</sup>, Su Ruibo<sup>1</sup>,  
Jiang Jincheng<sup>4</sup>, Cui Hongxing<sup>2</sup>

(1. College of Civil And Traffic Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;

2. Key Laboratory for Geo-Environmental Monitoring of Great Bay Area, MNR, School of Architecture & Urban Planning, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;

3. Guangdong Key Laboratory of Urban Informatics, School of Architecture & Urban Planning, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China; 4. Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China)

**Abstract:** The problems of low resolution and poor timeliness of nightlight remote sensing images are the resistance to the development of light pollution research. In this regard, a novel method to capture nightlight remote sensing image called Volunteered Passenger Aircraft Remote Sensing (VPARS) is used to obtain high-resolution nighttime light imagery from Changsha City, combined with the commercial POI data in 2018, the source and the patterns of light pollution was analyzed, and the preliminary application of VPARS in light pollution research was explored. The results showed that the Volunteered Passenger Aircraft Remote Sensing can effectively obtain high-precision night-time remote sensing data of cities, and has great potential in light pollution monitoring applications. According to the preliminary analysis of the VPARS night-light remote sensing image of Changsha City, the POI of shopping service, living service and catering service are responsible for more than half of the detected light output, and the brightness coefficient of them is much higher than the average value, which makes them the main source of light pollution in Changsha. Although the POI of travel service and public service facilities has a low luminous ratio, the brightness coefficient reaches a maximum of 1.82, and the degree of light pollution is high. Light pollution in Changsha is mainly concentrated in commercial districts and urban cores.

**Key words:** Urban light pollution; Night-light remote sensing; Volunteered Passenger Aircraft Remote Sensing; Spatial analysis; Changsha city