

# DMSP/OLS 夜间灯光数据应用研究综述

杨眉<sup>1,2</sup>, 王世新<sup>1</sup>, 周艺<sup>1</sup>, 王丽涛<sup>1</sup>

(1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:**DMSP/OLS 以其独特的光电放大特性与对夜间灯光的获取能力, 成为人类活动监测的良好数据源。回顾了 DMSP/OLS 夜间灯光数据在城镇信息提取、社会经济因子估计及光污染、火灾、渔火、天然气燃烧监测等方面的应用, 其中重点介绍了利用灯光数据估算城市化水平和人口的方法 and 步骤, 并总结了 DMSP/OLS 夜间灯光数据在应用中的优越性与局限性, 最后对其未来应用方向进行了展望。

**关键词:**DMSP; OLS; 夜间灯光; 人类活动

**中图分类号:**TP 79      **文献标志码:**A      **文章编号:**1004-0323(2011)01-0045-07

## 1 引言

美国国防气象卫星计划(Defense Meteorological Satellite Program, DMSP)是美国国防部极轨卫星项目, 由空军太空与导弹系统中心负责管理。该卫星的轨道特点类似 NOAA 卫星, 运行在高度约 830 km 的太阳同步轨道, 扫描条带宽度 3000 km, 周期约 101 min 每天绕地球飞行 14 圈, 可得到 4 次全球覆盖图, 分别是清晨、白天、黄昏和夜晚。DMSP 上的线性扫描业务系统(Operational Linescan System, OLS)最初是专门为云层监测设计的振荡扫描辐射计, 共设有两个波段: 可见光-近红外(VNIR)波段,  $0.4 \sim 1 \mu\text{m}$ , 光谱分辨率 6 bit, 灰度值范围  $0 \sim 63$ ; 热红外(TIR)波段,  $10 \sim 13 \mu\text{m}$ , 光谱分辨率 8 bit, 灰度值范围  $0 \sim 255$ <sup>[1]</sup>。其中可见光波段又有两套探测器, 白天使用光学望远镜, 夜间使用光学倍增管。夜间光学倍增管的入瞳单位波长辐亮度允许低至  $10^{-9} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}$ , 这比 OLS 白天可见光通道或 NOAA/AVHRR、Landsat/TM 等其他传感器的相应通道所能探测到的辐射大约低 4 个数量级<sup>[2]</sup>。光学倍增管起初是为气象目的设计, 用于探测月光照射下的云, 后来由于其具有很强的光电放大能力, 因此逐渐被应用于探测城镇灯光、极光、闪电、渔火、火灾等地表活动<sup>[3]</sup>。

通常来说, 卫星传感器获取的主要是地表的太阳辐射反射信号, 而 DMSP/OLS 传感器独辟蹊径, 采集的是夜间灯光、火光等产生的辐射信号。DMSP/OLS 传感器在夜间工作, 能探测到城市灯光甚至小规模居民地、车流等发出的低强度灯光, 并使之区别于黑暗的乡村背景<sup>[4]</sup>。因此, DMSP/OLS 夜间灯光影像可作为人类活动的表征, 成为人类活动监测研究的良好数据源<sup>[5]</sup>。使用 DMSP/OLS 数据主要有以下两点优势: ① DMSP/OLS 不依赖于高空分辨率, 它的影像分辨率通常在 1 km 左右, 因而影像数据量非常小, 甚至不到 TM 数据的 1%<sup>[6]</sup>, 在对 DMSP/OLS 数据进行处理时更加简便; ② DMSP/OLS 夜间灯光影像能反映综合性信息, 它涵盖了交通道路、居民地等与人口、城市等因子分布密切相关的信息。因此, 使用 DMSP/OLS 灯光数据时无需再单独考虑这些因素。

目前, DMSP/OLS 夜间灯光影像主要用于城镇扩展研究<sup>[2-3, 7-18]</sup>、社会经济因子估算<sup>[4, 6, 13, 19-31]</sup>以及其他环境<sup>[32-34]</sup>、灾害<sup>[13, 35-36]</sup>、渔业<sup>[13, 37-39]</sup>、能源<sup>[13, 40]</sup>等领域。

## 2 城镇扩展监测

当今世界处于一个高速发展的时期, 传统的统计方法提供的城区范围往往还没有发挥作用就已经

收稿日期: 2010-05-05; 修订日期: 2010-10-19

基金项目: 国家科技支撑计划“主体功能区动态监测评价系统研究”(2008BAH31B03)和中国科学院知识创新工程重要方向项目群“重大自然灾害遥感损失评估的理论与方法研究”(KZCX2-YW-Q03-07)资助。

作者简介: 杨眉(1988—), 女, 安徽潜山人, 博士研究生, 主要从事遥感与 GIS 社会经济统计数据估算研究。E-mail: Yangmei0805@163.com。

变化。反映人类活动特征的 DMSP/OLS 夜间灯光影像以城镇为靶区,为城镇扩展监测提供了准确、直接、节约、省时的方法。主要方法有如下两种:① 通过灯光影像快速提取城市建成区,对多时相的城市建成区进行比较,得到城镇扩展结果;② 将多时相夜间灯光影像进行三色叠加,从颜色变化判断城镇扩展的范围及趋势。

1978 年, Croft<sup>[3]</sup> 首次提出 DMSP/OLS 影像具有城市建成区提取的潜力。但学者们经过早期研究发现:城区提取易受到像元饱和、像元溢出、云层覆盖、短暂性光源等多种因素的限制。在 NOAA/NGDC 的 Elvidge 等<sup>[13]</sup> 研究人员的努力下,发展出了 Stable Lights 灯光数据集,初步解决了云层覆盖与短暂性光源的问题。

利用 DMSP/OLS 影像提取城市建成区的关键性问题是“灯光溢出”,即夜间灯光影像上探测到的有灯光的区域与实际城区范围并不能完全一致,OLS 探测到的灯光分布范围往往大于其对应居住区的空间范围<sup>[12]</sup>。为了减少“灯光溢出”,学者们尝试对灯光影像设定阈值,随着阈值的增大,灯光区域缩小,最终存在一个阈值使灯光区域面积与实际建成区面积一致。Imhoff 等<sup>[11]</sup> 针对 DMSP/OLS 稳定灯光图像进行了多次试验,最终确定 89% 的观测频率阈值来消除观测频率较小的灯光像元,即我们认为的暂时性或溢出性灯光,从而有效地把灯光区域面积转化为城区面积。使用该方法提取出的城区面积与美国 1990 年统计调查结果相比,仅仅少了 5%。Henderson 等<sup>[10]</sup> 对 DMSP/OLS 灯光频率图像采用 6%、80% 的阈值,对 DMSP/OLS 辐射定标灯光强度图像采用 1、20 的阈值,分别提取了旧金山、北京、拉萨等发展水平不同的几个城市的边界,并以 Landsat TM 图像中提取的城市边界为标准做精度评价,结果说明 DMSP/OLS 稳定灯光和辐射定标图像均可作为城镇范围和城市化水平监测的有效数据源。

Small 等<sup>[8]</sup> 在研究中首先将 1994~1995 年、1992~1993 年、2000 年采集的低月光、无云情况下的全球夜间灯光影像计算转化为观测频率影像图,值域范围为 0~100,值代表观测时期所有的无云观测结果中光源被探测到的次数百分比,然后将 2000 年、1992~1993 年和 1994~1995 年数据分别赋予红、绿、蓝 3 色复合叠加,直接进行比较。从颜色变化可以直观地看出城市扩张的大小、方向和趋势。

利用夜间灯光影像做城镇扩展监测研究的主要

途径是通过对影像设定阈值,将灯光面积缩小为城区有效面积。由于各地区的城市扩展情况各异,其阈值也各不相同。因而阈值设定是利用 DMSP/OLS 灯光影像进行城镇扩展监测的最大难点,前人的研究也主要集中于此。此外,将多时相数据分别赋予红、绿、蓝 3 色复合叠加,通过叠加图来观察城市扩展大小、方向和趋势的方法,也是一种较为新颖、方便、直观的方法。

### 3 社会经济因子估计

灯光影像上亮区和暗区的对比使之成为研究密集人类活动及其影响的一个有力工具<sup>[3]</sup>。明显地,灯光强弱与社会经济因子间存在正相关关系。学者们在 DMSP/OLS 夜间灯光影像与城市化水平、人口、GDP、电力消耗量、碳排放量等因子间的定量关系方面做了大量探索,并利用它们之间的定量模型开展社会经济因子估计研究。

#### 3.1 城市化水平估计

利用夜间灯光强度影像可构建综合灯光指数来反映城市化水平,对地区城市化发展状况开展有效监测。目前应用 DMSP/OLS 灯光影像构建灯光指数进行城市化信息提取以陈晋<sup>[21]</sup>、卓莉<sup>[20]</sup> 等的研究较为典型。他们首次应用 DMSP/OLS 夜间灯光数据,综合考虑区域平均灯光强度和灯光面积两方面属性特征,构造了灯光指数(CNLI)用于估算城市化水平,其主要思路如下:

##### 3.1.1 定义灯光指数

基于夜间灯光分布的区域平均灯光强度和区域灯光面积两方面的属性来构建反映城市化水平的灯光指数:

$$L_j = I_j \times \omega_1 + S_j \times \omega_2 \quad (1)$$

其中: $L_j$  为区域  $j$  的灯光指数, $I_j$  和  $S_j$  分别为区域  $j$  的平均灯光强度指标和灯光面积指标, $\omega_1$ 、 $\omega_2$  分别为权重。

区域平均灯光强度指标  $I_j$  表征了相对于最大可能灯光强度的比例关系,定义为:

$$I_j = \sum_{i=1}^{63} \text{DN}_i \times \frac{n_i}{N \times 63} \quad (2)$$

其中: $\text{DN}_i$  为区域内第  $i$  等级的灰度值, $n_i$  为区域内第  $i$  灰度等级的像元总数, $N$  为区域内所有灯光像元总数( $64 \geq \text{DN} > 0$ ),63 为最大灰度等级。

区域灯光面积指标  $S_j$  反映了灯光的空间延展特征,是区域内所有灯光像元的总面积( $64 \geq \text{DN} > 0$  像元之面积),占整个区域面积( $63 \geq \text{DN} \geq 0$  像元

之面积)的比例:

$$S_j = \frac{\text{Area}_N}{\text{Area}} \tag{3}$$

其中:Area<sub>N</sub> 为区域内所有灯光像元的总面积,Area 为整个区域面积。

3.1.2 定义城市化复合指标

选取 3 个反映城市化水平的主要因子计算城市化复合指标,3 个因子分别为:非农业人口占总人口的比重;第二、三产业产值占国内生产总值的比重;建成区面积占整个区域面积的比例。

3.1.3 回归建模

利用回归分析方法,建立灯光指数与城市化水平复合指标的线性回归模型,该模型将直接应用于 DMSP/ OLS 数据估算城市化水平复合指标。模型形式如下:

$$U = a \cdot L + b \tag{4}$$

其中:U 指城市化水平复合指标,L 指灯光指数,a、b 为模型系数。

灯光指数研究城市化克服了统计数据包含的人为影响、滞后、费时费力等问题,可以在较大范围内同时快速获取。直接应用灯光指数代替传统的统计数据来估算、分析中国城市化动态发展,比较客观、简便,且具有较高的区际及年际可比性。此外,对于缺乏统计数据的地区,同样可通过计算灯光指数来估算其城市化水平,计算结果具有一定的参考价值。因此其优越性显而易见<sup>[20]</sup>。这种方法也可尝试推广到其他地区。

3.2 人口估计

早在 1973 年,美国普查局对 DMSP 影像与 1970 年人口分布点图的比较研究中揭示了灯光城区面积(IUAs)和人口点分布模式之间的显著关系<sup>[41]</sup>。随后 Lo<sup>[19]</sup>、Sutton 等<sup>[42]</sup>的研究进一步表明,灯光与人口分布之间存在明显的线性关系,可以通过灯光来估算全球、国家甚至城市尺度上的人口详细分布。Sutton<sup>[12]</sup>采用美国地区 DMSP/OLS 辐射校正灯光强度影像和由美国人口普查数据格网化的人口密度图(空间分辨率均为 1 km<sup>2</sup>),首先使用 USGS 国家土地覆盖数据影像来帮助确定“阈值”,以划定城市灯光区域,再进行城市面积—城市人口模型的构建。由于高人口密度区域的灯光饱和现象会减弱线性回归的拟合度,因此他在研究中采用指数模型来削弱灯光饱和现象的影响,将其做对数变换,得到 Ln(Population)=B0+B1×Ln(Area),用于描述城市面积和城市人口之间的关系,结果发现:

在人口大于或等于 50 000 的城市区域中,城市区域面积和人口均有很强的相关性。程砾瑜<sup>[25]</sup>利用 1995 年、2000 年、2002 年的夜间灯光频率影像提取中国各县的灯光平均值,并与当年的分县人口密度做线性回归分析,分别得到 R<sup>2</sup>=0.83、0.85、0.86 的结果,并尝试使用分区的方法,分别按照“东西地理位置”、“人口密度”、“城市化水平”等进行分区建模,从而发现灯光影像估计人口的方法更加适用于中国东部、人口较密集以及城市化水平较高的地区。在此基础上,程砾瑜<sup>[43]</sup>又提出了一种基于 DMSP/ OLS 数据的探测中国人口及其空间分布的研究方法,为开展中国人口的遥感监测提供了方法和技术基础。以夜间灯光影像构建中国县级尺度上人口分布模型,从模型拟合度的角度来看,模型的精度达到了较高水平,R<sup>2</sup> 基本介于 0.4~0.7 之间。值得一提的是,log(灯光平均强度)、log(灯光面积比)和 log(加权灯光指数)与 log(人口密度)所构建的回归方程效果最好,R<sup>2</sup> 达到了 0.7。其主要原因是,对灯光属性和人口密度进行取对数处理的物理变换,不仅缓和了灯光影像的像元饱和问题,还拉伸了数据点的分布,使模型更合理可信。考虑到中国人口密度和经济状况地区之间的不均衡,为了进一步提高模型的精度,这个研究还基于一些经济地理学领域常用的分区法则对中国人口分布进行了分区研究。分为八大区后模型的拟合度得到了较大提高,特别是在经济状况相对均一的地区,效果尤为显著。灯光数据与人口密度预测模型的拟合度 R<sup>2</sup> 达到了 0.8。曹丽琴等<sup>[22]</sup>以中国湖北省为例做了基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的城市人口估算,结果表明夜间灯光数据用于城镇人口短期预测可以达到很好的效果。

3.3 GDP、能耗量、碳排放量等因子估计

1980 年,Welch<sup>[24]</sup>以美国东部的 18 个大城市为样本,就 DMSP 影像提取的 IUA 指数和能源消耗量之间建立了指数模型:y=107.86x<sup>0.44</sup>(R=0.89),首次证明了 DMSP/OLS 数据在国家或地区尺度上监测能源消耗量的可行性。Ghosh 等<sup>[44]</sup>利用 OLS 探测到的夜间灯光成功估计出美国、墨西哥各州的实际经济情况(GDP),发现该方法可用于官方发布经济情况的核对工作。

Elvidge 等<sup>[6]</sup>通过对美国、巴西等 21 个国家的数据分析,研究了在至少 10%无云观测中出现灯光的区域面积与 GDP、电能消耗量之间的关系,建立了它们之间的 log-log 模型,R<sup>2</sup> 均达到 0.85 以上,

结果证明可以通过 DMSP/OLS 数据较好地估算 GDP、电能消耗等多项社会经济数据。具体模型如下:

$$\text{Log of GDP}_{\text{Billion USD}} = -3.185 + 1.159(\text{Log of area lit}) \quad (5)$$

$$R^2 = 0.97$$

$$\text{Log of GWH} = -0.865 + 1.178(\text{Log of area lit}) \quad (6)$$

$$R^2 = 0.96$$

2001 年, Elvidge 等<sup>[13]</sup>进一步收集了占全球人口 99% 的 200 多个经济发展水平各不相同的国家的 GDP 数据, 采用 1994~1995 年间 6 个月的 DMSP/OLS 影像, 以(灯光面积, GDP), (灯光面积, 亿千瓦小时), (灯光面积, 百万吨碳当量)点为对基础分别绘制散点图, 观察散点分布特征, 结果显示灯光面积与 GDP、能源消耗以及碳排放量这几个指标之间均密切相关, 且存在较强的线性关系。

2010 年, Raupach 等<sup>[31]</sup>在全球范围内研究了灯光与单位面积的碳排放量之间的线性关系, 首先选择了美国、中国、日本、印度、欧洲、前苏联作为样本区域, 另外将其他区域按照发展水平划分为 3 个区域, 共计 9 个样本, 经过线性回归得到如下模型:

$$F/A = 55Lc \quad R^2 = 0.92 \quad (7)$$

其中:  $F$  指区域的二氧化碳排放量,  $A$  指区域面积,  $Lc$  指该区域在灯光影像中对应的灯光像元个数。

此外, Elvidge<sup>[2]</sup>、Imhoff<sup>[9]</sup>、Sutton<sup>[45]</sup>、Amaral<sup>[23]</sup>、Kiran 等<sup>[30]</sup>学者均从不同角度证明了 DMSP/OLS 灯光影像与城市电力消耗量之间显著线性关系的存在。

以上研究主要采用相关分析和回归分析的方法, 初步探索了大尺度下的灯光—GDP、灯光—电能消耗量、灯光—碳排放量关系, 结果证明灯光影像信息与这些社会经济因子间显著相关, 灯光影像已成为反演社会经济、监测生态环境的良好数据源。但灯光数据较低的空间、时间分辨率使其在小尺度范围的应用中具有一定的局限性。此外, 目前的相关研究着重于 GDP、能耗量、碳排放量等指标与灯光面积指数间的关系, 如果在估计模型中加入灯光强度因子, 将灯光面积与灯光强度二者结合起来, 可提高基于灯光影像对上述指标的估计精度。

## 4 其他方面的探索性研究

除了社会经济数据研究, DMSP/OLS 夜间灯光影像还被尝试用于环境、灾害、渔业、能源等领域。

目前, 学者们仅仅利用该影像进行了一些探索性研究, 但假以时日, DMSP/OLS 夜间灯光影像将在更广泛的领域体现出巨大的应用价值。

### 4.1 环境

随着经济与科技的迅速发展, 城市的夜晚越来越明亮。明亮灯光给人类生活带来便利的同时, 也带来了困扰, 因而光污染越来越受到人们的重视。由于光污染与人类活动直接相关, 所以利用城市的灯光指数来划分各区域灯光强度的不同级别, 为城市的合理规划, 以及保护一些自然的原生态地区提供决策支持是十分可行的。学者们利用 DMSP/OLS 影像做了很多相应的研究<sup>[23-24]</sup>, 根据灯光强度定量地研究光污染, 通过 GIS 技术分析, 将直接光污染和间接光污染相叠加, 得到地区光污染的等级图, 并通过多时相分析得到光污染的传播过程和趋势, 以及按受污染的程度划分出乡村(相对宁静区域)、城郊、城市中心等。

### 4.2 灾害

利用 DMSP/OLS 夜间灯光影像可以进行火灾监测, 为火灾治理和资源保护提供必要信息。其基本思路是根据火点发生频率与空间散布规律, 从 DMSP/OLS 影像上分辨出火点<sup>[35]</sup>。

### 4.3 渔业

渔火监测为跟踪捕鱼业提供了基础, 可用于鱼类数量估计, 为鱼类可持续发展的管理提供了有价值的信息<sup>[37-38]</sup>。从夜间灯光影像中萃取渔船的方法同火灾监测方法类似, 不同点是灯光出现的位置必须在水面上。

### 4.4 能源

石油开采过程中会产生大量天然气, 由于液化、运输等天然气处理基础设施成本较高, 很多油气公司采取直接焚烧的处理方法。天然气燃烧不仅会破坏环境, 为大气层增添额外的二氧化碳排放量, 同时也是对清洁能源的惊人浪费。如此被处理的天然气总量可占到世界天然气产量的 5%<sup>[13]</sup>。DMSP/OLS 夜间灯光影像可以提供天然气燃烧时间、地理位置和估计量等方面的信息, 可为有效制止油气公司的浪费行为提供技术支持<sup>[32]</sup>。

## 5 结 语

自 20 世纪 70 年代以来, 学者们已成功将 DMSP/OLS 数据应用于各方面研究并取得良好效果, DMSP/OLS 夜间灯光影像作为独特的低光探测遥感数据源, 为研究人类活动及其影响提供了一条可

靠、便利的途径,在城镇扩展监测、城市化水平、人口、GDP、能耗、碳排放量估计、光污染监测、火灾监测等方面都有较成熟的应用。研究证明,DMSP/OLS 数据在城市等人口密集地区的应用具有很强的优越性。但任何数据都有其自身的局限性,DMSP/OLS 数据缺乏灯光以外的信息,因此在无灯光地区的人类活动监测方面受到极大限制。也就是说,对于无灯光地区,仍需借助其他遥感影像或统计数据等开展研究。

DMSP 计划预计持续到 2010 年,之后,美国国防部计划发射的 NPOESS 卫星上也将携带与 OLS 传感器类似的低光探测器,因此,在未来几十年内夜间灯光数据的持续性已不是问题<sup>[13]</sup>。随着今后研究的深入,夜间灯光遥感数据将具有更加广阔的应用前景:

(1) 目前应用灯光影像时主要考虑灯光的持续性和面积,加入强度因子的并不多见,这极大地限制了估计精度与应用范围。因此,如何充分利用夜间灯光强度影像,对灯光强度信息进行深度挖掘,今后还需要更加广泛、深入的研究。

(2) 在环境问题日益严峻的今天,利用夜间灯光数据可有效估算碳排放量等,为全球、区域尺度上的环境监测提供低成本、便捷的数据支撑。

(3) 随着遥感技术的迅猛发展,可尝试应用夜间灯光影像结合高分辨率遥感数据开展更加精细的量化研究。

#### 参考文献(References):

- [1] National Geophysical Data Center. Operational Linescan System-data Description [EB/OL]. <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/sensors/ols.html>, 2008.
- [2] Elvidge C D, Baugh K E, Kihn E A, *et al.* Mapping City Lights with Nighttime Data from the DMSP Operational Linescan System[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1997, 63(6): 727-734.
- [3] Croft T A. Nighttime Images of the Earth from Space[J]. Scientific American, 1978, 239: 86-89.
- [4] He Chunyang, Shi Peijun, Li Jinggang, *et al.* Spatial Restructuring of Urbanization in Chinese Mainland in 1990s Using DMSP/OLS Night Light Data and Statistical Data[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(7): 856-861. [何春阳, 史培军, 李景刚, 等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据和统计数据的中国大陆 20 世纪 90 年代城市化空间过程重建研究[J]. 科学通报, 2006, 51(7): 856-861.]
- [5] Elvidge C, Sutton P, Tuttle B, *et al.* Change Detection in Satellite Observed Nighttime Lights: 1992-2003[C]//Urban Remote Sensing Event, Paris, IEEE, 2007, 1-4.
- [6] Elvidge C D, Baugh K E, Kihn E A, *et al.* Relation between Satellite Observed Visible-near Infrared Emissions, Population, Economic Activity and Electric Power Consumption[J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(6): 1373-1379.
- [7] Cao X, Chen J, Imura H, *et al.* A SVM-based Method to Extract Urban Areas from DMSP-OLS and SPOT VGT Data[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(10): 2205-2209.
- [8] Small C, Pozzi F, Elvidge C D. Spatial Analysis of Global Urban Extent from DMSP-OLS Night Lights[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 96(3-4): 277-291.
- [9] Imhoff M L, Lawrence W T, Elvidge C D, *et al.* Using Night-time DMSP/OLS Images of City Lights to Estimate the Impact of Urban Land Use on Soil Resources in the United States[J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 59(1): 105-117.
- [10] Henderson M, Yeh E T, Gong P, *et al.* Validation of Urban Boundaries Derived from Global Night-time Satellite Imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(3): 595-609.
- [11] Imhoff M L, Lawrence W T, Stutzer D C, *et al.* A Technique for Using Composite DMSP/OLS "City Lights" Satellite Data to Map Urban Area[J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 61(3): 361-370.
- [12] Sutton P C. A Scale-adjusted Measure of "Urban Sprawl" Using Nighttime Satellite Imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 86(3): 353-369.
- [13] Elvidge C D, Imhoff M L, Baugh K E, *et al.* Night-time Lights of the World: 1994-1995[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2001, 56(2): 81-99.
- [14] Li Z, Qiang L, Jin C, *et al.* Characteristics Analysis of Urban Land Expansion in China in 1990s Using DMSP/OLS Data[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2007, 3: 98-102.
- [15] Matsuoka M, Hayasaka T, Fukushima Y, *et al.* Land Cover in East Asia Classified Using Terra MODIS and DMSP OLS Products[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(2): 221-248.
- [16] McDonald R, Kareiva P, Forman R. The Implications of Current and Future Urbanization for Global Protected Areas and Biodiversity Conservation[J]. Biological Conservation, 2008, 141(6): 1695-1703.
- [17] Elvidge C, Safran J, Tuttle B, *et al.* Potential for Global Mapping of Development Via a Nightsat Mission[J]. Geojournal, 2007, 69(1): 45-53.
- [18] Lu D, Tian H, Zhou G, *et al.* Regional Mapping of Human Settlements in Southeastern China with Multisensor Remotely Sensed Data[J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(9): 3668-3679.
- [19] Lo C P. Modeling the Population of China Using DMSP Operational Linescan System Nighttime Data[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2001, 67(9): 1037-1047.

- [20] Zhuo Li, Shi Peijun, Chen Jin, *et al.* Application of Compound Night Light Index Derived from DMSP/OLS Data to Urbanization Analysis in China in the 1990s[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(6): 893-902. [卓莉, 史培军, 陈晋. 20 世纪 90 年代中国城市时空变化特征——基于灯光指数 CNLI 方法的探讨[J]. *地理学报*, 2003, 58(6): 893-902.]
- [21] Chen Jin, Zhuo Li, Shi Peijun, *et al.* The Study on Urbanization Process in China based on DMSP/OLS Data: Development of Light Index for Urbanization Level Estimation[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2003, 7(3): 168-175. [陈晋, 卓莉, 史培军, 等. 基于 DMSP/OLS 数据的中国城市化过程研究——反映区域城市化水平的灯光指数的构建[J]. *遥感学报*, 2003, 7(3): 168-175.]
- [22] Cao Liqin, Li Pingxiang, Zhang Liangpei. Urban Population Estimation based on the DMSP/OLS Night-time Satellite Data[J]. *Remote Sensing Information*, 2009, 1: 83-87. [曹丽琴, 李平湘, 张良培. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的城市人口估算——以湖北省各县市为例[J]. *遥感信息*, 2009, 1: 83-87.]
- [23] Amaral S, Camara G, Monteiro A M V, *et al.* Estimating Population and Energy Consumption in Brazilian Amazonia Using DMSP Night-time Satellite Data[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2005, 29(2): 179-195.
- [24] Welch R. Monitoring Urban Population and Energy Utilization Patterns from Satellite Data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1980, 9(1): 1-9.
- [25] Cheng L Y, Zhou Y, Wang L T, *et al.* An Estimate of the City Population in China Using DMSP Night-time Satellite Imagery[C]//IGARSS 2007, 2007: 691-694.
- [26] Sutton P, Taylor M, Elvidge C. Using DMSP OLS Imagery to Characterize Urban Populations in Developed and Developing Countries[J]. *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*, 2010, 10: 329-348.
- [27] Zhuo L, Ichinose T, Zheng J, *et al.* Modelling the Population Density of China at the Pixel Level based on DMSP/OLS Non-radiance-calibrated Night-time Light Images[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2009, 30(4): 1003-1018.
- [28] Chunyang H, Jinggang L, Jin C, *et al.* The Urbanization Process of Bohai Rim in the 1990s by Using DMSP/OLS Data[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2006, 16(2): 174-182.
- [29] Elvidge C, Sutton P, Ghosh T, *et al.* A Global Poverty Map Derived from Satellite Data[J]. *Computers & Geosciences*, 2009, 35(8): 1652-1660.
- [30] Kiran Chand T R, Badarinath K V S, Elvidge C D, *et al.* Spatial Characterization of Electrical Power Consumption Patterns over India Using Temporal DMSP-OLS Night-time Satellite Data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2009, 30(3): 647-661.
- [31] Raupach M, Rayner P, Paget M. Regional Variations in Spatial Structure of Nightlights, Population Density and Fossil fuel CO<sub>2</sub> Emissions[J]. *Energy Policy*, 2009.
- [32] Croft T A. Burning Waste Gas in Oil Fields[J]. *Nature*, 1973, 245: 375-376.
- [33] Chalkias C, Petrakis M, Psiloglou B, *et al.* Modelling of Light Pollution in Suburban Areas Using Remotely Sensed Imagery and GIS[J]. *Journal of Environmental Management*, 2006, 79(1): 57-63.
- [34] Cinzano P, Falchi F, Elvidge C. Moonlight without the Moon[J]. *Earth, Moon and Planets*, 1999, 85: 517-522.
- [35] Cahoon D R, Stocks B J, Levine J S, *et al.* Seasonal Distribution of African Savanna Fires[J]. *Nature*, 1992, 359: 812-815.
- [36] Tuttle B. Active Forest Fire Monitoring in Uttaranchal State, India Using Multi-temporal DMSP-OLS and MODIS Data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28(10): 2123-2132.
- [37] Cho K, Ito R, Shimoda H, *et al.* Technical Note and Cover Fishing Fleet Lights and Sea Surface Temperature Distribution Observed by DMSP/OLS Sensor[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1999, 20(1): 3-9.
- [38] Rodhouse P G, Elvidge C D, Trathan P N. Remote Sensing of the Global Light-fishing Fleet: an Analysis of Interactions with Oceanography, other Fisheries and Predators[J]. *Advances in Marine Biology*, 2001: 261-278.
- [39] Waluda C, Griffiths H, Rodhouse P. Remotely Sensed Spatial Dynamics of the Ilex Argentinus Fishery, Southwest Atlantic[J]. *Fisheries Research*, 2008, 91(2-3): 196-202.
- [40] Pati A, Achari K. Quantification of Trace Gas Emissions from Shifting Cultivation Areas Using Remote Sensing and Ground-based Measurements[J]. *Current Science*, 2007, 92(7): 891.
- [41] Census USBot. Population Distribution, Urban and Rural, in the United States; 1970[M]. Washington, D C: GPO, 1973.
- [42] Sutton P, Roberts D, Elvidge C D, *et al.* Census from Heaven: An Estimate of the Global Human Population Using Night-time Satellite Imagery[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(16): 3061-3076.
- [43] Cheng Liyu. Spatial and Temporal Analysis of Population Distribution in China Using DMSP/OLS Nightlight Emissions Data[D]. Beijing: Institute of Remote Sensing Applications, CAS, 2008. [程砾瑜. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的中国人口分布时空变化研究 [D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2008.]
- [44] Tilottama G, Paul S, Rebecca P, *et al.* Estimation of Mexico's Informal Economy Using DMSP Nighttime Lights Data[C]//Urban Remote Sensing Event, 2009 Joint. Shanghai: IEEE, 2009: 1-10.
- [45] Sutton P, Roberts D, Elvidge C D, *et al.* A Comparison of Nighttime Satellite Imagery and Population Density for the Continental United States[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1997, 63(11): 1303-1313.

# Review on Applications of DMSP/OLS Night-time Emissions Data

YANG Mei<sup>1,2</sup>, WANG Shixin<sup>1</sup>, ZHOU Yi<sup>1</sup>, WANG Li-tao<sup>1</sup>

(1. *Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract:** The Defense Meteorological Satellite System(DMSP) Operational Linescan System (OLS) has a unique low-light imaging capability developed for the detection of clouds lit by moonlight. In addition to moonlit clouds, the OLS sensor also detects nocturnal lights from the earth surface. Hence, DMSP/OLS night-time emissions data becomes well known as a means of monitoring human activities. In this paper, we reviewed a number of applications that had been developed or proposed based on the DMSP/OLS night-time emissions data, such as monitoring city lights, light pollution, fires, fishing boats and gas flare, and estimating socioeconomic data. Finally, the advantages and disadvantages of night light data were listed and more applications are expected in the future based on the available light emission data.

**Key words:** DMSP; OLS; Night lights; Human activities