

# DMSP/OLS 数据应用研究综述

王鹤饶<sup>1</sup>, 郑新奇<sup>1,2</sup>, 袁 涛<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083;

2. 北京市国土资源信息开发研究重点实验室, 北京 100083)

**摘 要:**DMSP/OLS 夜间灯光数据主要包括稳定灯光数据、辐射标定夜间灯光强度数据、非辐射标定夜间灯光强度数据3种产品。该数据产品具有获取容易、能够探测低强度灯光、不受光线阴影影响、方便为城市化强度及其时空分异分析提供条件等优点。目前,关于DMSP/OLS数据的研究成果已有很多,主要集中于城市发展研究、人类活动及效应研究、生态环境影响研究等方面,但对成果的系统归纳总结性研究却几乎没有。基于此,本文分析比较了现有DMSP/OLS数据研究实例,针对已有成果研究目的、技术方法以及方法优缺点等进行归纳总结,探索DMSP/OLS夜间灯光平均强度数据的应用前景。最后,总结了该数据的未来研究趋势:①对数据本身处理方法深入研究;②数据应用领域应进一步扩展;③DMSP/OLS数据与其他数据模型的集成研究应进一步深化;④将现有研究成果结合,进一步研究地理现象机制问题。

**关 键 词:**DMSP/OLS;城市化;人类活动;效应;经济水平

## 1 引言

1976年9月,美国发射的DMSP(Defense Meteorological Satellite Program) Block 5D21 Satellite F21 卫星开始搭载传感器 OLS(Operational Linescan System, OLS)。目前,使用中的DMSP 卫星系统(F12, F213, F214)均搭载了OLS 传感器。该传感器有光谱分辨率为62bit的可见光、近红外通道和光谱分辨率为82bit的热红外通道两个通道;可获取幅宽为3000 km的图像;全光谱分辨率数据的空间分辨率为0.56 km,被称为高分辨率数据。卫星以一天14轨的速度飞行,每一个OLS 传感器每天都能获取覆盖全球黑夜和白天的图像,整个卫星系统一天能提供全球黎明、白天、黄昏和夜晚4个时段的观测数据。OLS 传感器设计的最初目的是观测夜间月光照射下的云,因其具有较高的增益性,不仅能监测云还能探测城镇灯光、火光、渔船灯光等发出的电磁波<sup>[1]</sup>。

早期的OLS 数据主要为基于低强度灯光数据的稳定灯光数据产品,记录了一定时段内无云观测

情况下灯光被探测到的频率。而后,针对早期数据产品缺乏灯光强度信息特点,美国地理数据中心对夜间灯光数据进行了辐射标定实验,得到了辐射定标夜间灯光强度数据,该数据产品考虑了可见光、近红外通道(VNIR)在高倍增益下,城市中心区域灯光数据饱和问题,对增益进行人为控制,然后对不同增益下数据进行平均化处理得到VNIR 通道辐射值范围为 $1154 \times 10^{-9} \sim 3117 \times 10^{-7} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{Lm}^{-1}$ 。日本国立环境研究所和东京大学在美国国家地理数据中心(NGDC, National Geophysical Data Center)的DMSP/OLS 研究小组的协助下,借鉴1996-1997年夜间灯光数据辐射标定实验工作的经验,针对亚洲地区的特点开发了一种介于上述两类产品之间的新数据产品,即非辐射定标夜间灯光平均强度数据产品。随着技术的不断发展,灯光数据产品消除云及火光等偶然噪声的影响,产品的精度不断提高。

DMSP/OLS 夜间灯光数据具有以下优点:①可通过Internet 网络等多种途径得到,获取比较容易;②非辐射定标平均灯光强度数据经过了消云处理、

收稿日期:2011-03; 修订日期:2011-06.

基金项目:2011 年度国家公益性行业(土地)科研专项经费项目(201111014, 201011018);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2009PY21)。

作者简介:王鹤饶(1987-),女,硕士研究生,主要研究方向为遥感与GIS应用。E-mail: 85520662@qq.com

通讯作者:郑新奇(1963-),男,教授,博士生导师,主要从事GIS 开发与应用、土地集约利用、空间数据挖掘、地理计算、复杂系统仿真等研究。E-mail: zxqsd@126.com

偶然噪声滤除处理等预处理过程,专门针对亚洲地区特点开发,不会受到灯光饱和问题的干扰,不需要对放大增益进行人为控制,因而可以充分利用现有数据储蓄进行多年度时间序列制图,为亚洲城市化强度及其时空分异分析提供条件<sup>[1]</sup>;③DMSP/OLS在夜间工作,能够探测到城市灯光甚至小规模居民点、车流等发出的低强度灯光,使之明显区别于夜间黑暗的乡村地区,适合动态监测大尺度城市化进程中城镇用地扩展;④由于数据在夜间获取,所以不受光线阴影干扰;⑤与AVHRR相当的空间和时间分辨率,比较适合城市化进程的动态监测<sup>[1]</sup>。

针对DMSP/OLS数据的以上优势,国内外学者进行了基于DMSP/OLS数据的大量研究。从现有研究成果来看,主要集中在城市空间信息提取扩展研究<sup>[1-9]</sup>、城市空间特征灯光指数构建研究<sup>[10-11]</sup>、人口密度及热岛效应研究<sup>[4,12-16]</sup>、经济发展状况研究<sup>[17-18]</sup>、电力能源消耗量研究<sup>[18-21]</sup>以及城市化对生态环境影响研究<sup>[22-24]</sup>等方面。尽管研究成果很多,但对已有成果进行系统总结归纳研究文献却非常少,针对此种状况,本文对这些基于DMSP/OLS数据研究实例进行比较分析,针对其研究目的、内容、研究方法以及优缺点进行归纳总结,探索DMSP/OLS夜间灯光数据的应用前景。

## 2 城市发展研究

### 2.1 城市化空间过程重建

改革开放以来,中国大陆已经并正在经历快速的城市化过程<sup>[25]</sup>。认识与理解中国大陆的城市化空间过程特征,对于优化中国大陆城市化进程中的土地利用格局,降低城市化过程中所遇到的风险有很重要作用<sup>[26]</sup>。中国大陆目前以行政单元为基础的城镇用地面积统计数据缺乏足够的空间信息,难以满足大尺度城市化空间格局和变化过程研究需要。因此,为促进当前中国城市化空间过程研究,2006年,何春阳等<sup>[2]</sup>以统计数据为基础,利用DMSP/OLS夜间灯光遥感数据,快速恢复和提取中国大陆城镇用地空间信息,进而以此为基础,利用1992、1996和1998年3期DMSP/OLS夜间灯光数据,获取了这3年中国大陆城市化空间格局信息,重建了中国大陆20世纪90年代的城市化空间过程,为当前从大尺度上认识和理解中国大陆城市化空间过程提供了支持与帮助。国外,利用DMSP夜间

灯光数据提取城市空间格局信息的研究进展较早,成果也有很多。2003年,Henderson等<sup>[31]</sup>基于辅助资料空间比较法,利用较高分辨率的Landsat TM数据提取的城市空间格局信息,确定DMSP/OLS稳定灯光图像和辐射标定灯光图像两种数据的最佳阈值,较为准确地提取了美国旧金山、中国北京和拉萨3个城市化水平及经济发展水平有所差异的城市空间信息,显示了利用DMSP数据研究不同发展水平的城市空间格局的可能性。具体而言,目前,国内外利用DMSP/OLS数据进行城市空间过程重建研究基本方法总结见表1。

### 2.2 城市空间扩展研究

利用DMSP/OLS数据可以提取城市空间信息的特点,进行城市空间扩展研究,目前,国内外已有一些研究成果。2005年,何春阳等<sup>[7]</sup>首先选取环渤海地区为研究区,利用DMSP/OLS数据提取区域尺度的环渤海地区城市群空间分布格局,采用景观分析法分析研究区城市空间格局特征,从GIS空间分析角度出发,以城市群地区面状、线状和点状3种基本城市化空间模式为基础,采用城市化比例和强度两个指数,定量分析研究区3种城市空间演化过程,系统认识与优化研究区空间城市化过程与土地利用格局。该研究中,由于3种城市化模式仅是一个基于城市化过程空间分析初步概念,所以并不全面。且范围界定有待探讨。2006年,卓莉等<sup>[8]</sup>利用1992年、1996年和1998年3期DMSP/OLS数据提出一种以像元灯光强度时间变化特征为依据的城市用地空间扩展类型识别方法,对具有不同城市化强度变化过程的用地类型进行识别,并应用该方法对中国城市用地空间扩展类型进行分类,分析全国这一期间用地空间扩展类型特征。2010年,王跃云等<sup>[9]</sup>利用1993-2003年连续10年DMSP/OLS非辐射标定夜间灯光平均强度数据,采用最佳拟合阈值 $DN \geq 8$ ,提取了江苏省城镇建设用地区空间分布栅格数据,并基于此统计城镇建设用地区数,构建增长类型判别系数,利用5个常用度量斑块扩展形态特征指数,对江苏省城镇建设用地区扩展的空间格局进行了分析。总结利用夜间灯光数据进行城市空间扩展研究方法具体见表2。

### 2.3 城市空间特征灯光指数

伴随我国社会经济的高速发展和产业结构的调整,城市化正在我国迅猛发展,及时宏观把握城市化发展现状,深入解析城市化进程内在机制显得

表1 利用DMSP/OLS数据进行城市空间过程重建研究方法总结

Tab.1 The summary of research methods of urbanization reconstruction based on DMSP/OLS data			
方法	具体内容	优缺点分析	文献来源
突变检测法	连续观测数据中,地表灯光探测频率较高的像素为城市类型概率较大,逐渐增加阈值,将出现城市多边形不再沿边缘变小,而是内部出现破碎时的阈值点作为划分城市最佳阈值点。	该方法没有考虑到城市发展的区域性差异特征,且该方法的通用性没有得到充分证实。	1997年,Imhoff等 <sup>[4]</sup> 利用该方法提取了美国城市空间格局信息。
经验阈值法	根据DMSP/OLS数据特征和相关知识,按照经验来人为设定阈值,将超过一定灯光强度阈值的像元定义为城市像元。	该方法简单易行,可操作性强,但主观性较强,科学依据不足。	1997年,Sutton <sup>[5]</sup> 采用此方法,通过研究城市边缘距离,提取城市空间信息,进一步建立人口密度模型。 2003年,陈晋等 <sup>[1]</sup> 在对数据预处理过程中,根据经验确定阈值,提取空间信息,进行延伸研究。
辅助资料比较法	将DMSP/OLS数据图像与辅助资料图像进行对比,获取最佳阈值,进而利用灯光数据提取城市空间信息。	该方法科学依据性较强,但由于大范围的遥感图像、统计数据等辅助资料难以获取,所以可操作性不强。	2003年,Milesi等 <sup>[6]</sup> 以美国国家土地覆盖数据集和人口普查数据为辅助资料,获取提取城市空间的最佳阈值,研究城市扩展对植被初级净生产力影响。 2003年,Henderson等 <sup>[3]</sup> 以Landsat TM遥感影像为辅助资料,从DMSP/OLS的稳定灯光图像和辐射标定灯光图像两种数据产品中提取了较为准确的城市空间信息。 2006年,何春阳等 <sup>[2]</sup> 以统计数据为基础,利用灯光数据,完成了中国城市化空间重建过程。

表2 利用DMSP/OLS数据进行城市空间扩展研究方法总结

Tab.2 The summary of research methods of urban expansion based on DMSP/OLS data			
方法	具体内容	优缺点分析	文献来源
直接分析法	根据城市像元灯光强度时间变化特征直接识别不同的城市用地扩展类型。	直接利用灯光数据进行城市扩展类型分类,操作简便,但对灯光数据预处理工作要求较高。	2006年,卓莉等 <sup>[8]</sup> 利用该方法分析了全国用地空间扩展类型特征。
景观分析法	首先利用灯光数据提取城市空间格局,通过分析城市斑块景观形态特征指数,研究城市扩展演化过程。	由于以利用灯光数据提取城市空间格局为研究基础,所以对于提取的空间格局信息精度要求较高。	2005年,何春阳等 <sup>[7]</sup> 利用景观分析法获取研究区城市空间格局特征,分析研究区城市空间演化过程。 2010年,王跃云等 <sup>[9]</sup> 采用5个常用度量斑块扩展形态特征指数,分析1993、1998、2003年江苏省城镇建设用地区域扩展形态特征。

非常必要。同时,由于对城市化概念理解的不统一,各学科对城市化过程进行测度的指标和方法差异较大<sup>[27-28]</sup>,通用性不强,且各指标在可比性、可信度等方面存在着不足,因此,构建一个能够综合、全面地刻画城市化发展及其特性,并能够快速获取且具有较高可比性的城市化水平测度指标迫在眉睫。

基于此,2003年陈晋等<sup>[10]</sup>以DMSP/OLS数据为基础,构建了反映区域城市化水平的相加灯光指数,选取非农业人口占总人口比重等3个反映城市化水平的主要因子,计算城市化水平复合指标,分析其与省级尺度上灯光指数相关性,建立回归模型,进一步将其应用于中国城市发展水平及时空分

异分析和城市化进程监测。但该指数具有只在省级尺度上验证了相加灯光指数与城市化水平复合指数显著相关,而对其它尺度未做分析等不足,针对这种情况,卓莉等<sup>[11]</sup>发展了阈值去除误差技术,构建CNLI灯光指数,该指数具有,无需确定权重、更加简单且具有一定物理意义的反映区域城市化综合水平等优点,在此基础上,在省级和县级尺度上对CNLI与基于统计数据的城市化水平指数进行相关分析,建立两指数回归模型,直接应用CNLI等遥感指标分析中国20世纪90年代省级城市化水平空间格局及变化特征。对两种指数进行总结对比分析如表3。



3 人类活动及效应研究

3.1 人口密度模拟

人口增长对社会经济、生态环境有深远影响<sup>[7]</sup>,人口密度网格化比人口密度行政单元更接近人口实际分布,而且是实现人口数据与其它社会统计数据、资源数据、环境数据复合,提高人口、资源、环境综合管理能力的重要途径之一。利用 DMSP/OLS 数据进行人口密度分布方面研究,国内外已有很多。国内,2005 年,卓莉等<sup>[12]</sup>利用针对亚洲地区开发的 DMSP/OLS 数据,以及人口数据和 SPOT VGT-10 天最大化合成 NDVI 数据,以灯光强度作为估算因子,对灯光区内建模,基于人口—距离衰减规律和电场叠加理论对灯光区外建模,估算人口密度。这一研究是应用 DMSP/OLS 夜间灯光数据模拟人口密度研究的拓展与深入,结果表明,利用同时兼具空间形态信息与强度信息的 DMSP/OLS 灯光强度数据,进行人口密度研究,将人口密度网格化,使人口分布描述更加接近实际,可以实现人口、资源、环境和社会经济综合有效管理。但由于缺乏详细人口调查数据,模型结果尚未充分验证。国外,1997 年,Sutton 等<sup>[13]</sup>以美国大陆为基础,将其人口密度栅格图像与 DMSP/OLS 夜间灯光数据图像进行比较,通过分析不同州县尺度聚集度方法,研究了两种图像数据的相关性,显示出 DMSP/OLS 数据在研究人口分布领域的未来应用前景。Sutton<sup>[5]</sup>同样以美国为研究区,利用 DMSP/OLS 数据,研究城市边缘距离,获取城市空间信息,结合人口普查统计数据,建立了城市人口密度衰减模型,分析城市人口密度与灯光数据的相关性。2001 年,Lo<sup>[14]</sup>以中国 1996 年 3 月、1997 年 1-2 月的辐射定标夜间灯光强度数据 DMSP/OLS 为基础数据,将灯光数据按

强度分为 6 类,并提取各类面积,及其对应于研究区的平均像素值。通过灯光数据体积量度研究区的三维立体体积,在空间单元尺度上计算灯光密度。利用灯光面积,灯光体积,像素平均值,和灯光密度估为独立变量,建立自动增长模型与线性衰减模型,在省、市、县 3 个行政单元尺度上估算了中国的平均人口密度。与中国统计数据相比较,利用自由增长模型,可有效估计县市尺度的非农业人口。利用线性衰退模型,可有效估计县尺度的非农业人口密度。3 种尺度上,对人口的估算均近似与中国统计数据相符。可见,1 km 分辨率的辐射定标夜间灯光数据应用于人口估算方面,非常具有实际性意义。但该研究仅从行政单元尺度上估算了平均人口密度,未讨论其他尺度的估算准确性。国内外基于夜间灯光数据的人口密度模拟方法总结见表 4。

3.2 热岛效应

随着城市化进程发展,城市化建设用地导致的城市热岛效应已引起人们的广泛关注。1978 年改革开放以来,中国的城市化进程正在朝大都市区和大城市集群方向发展,长江三角洲城市作为中国城镇最为密集、城市化水平最高地区,发达工业,频繁的人类活动等情况导致该区域热岛效应严重<sup>[29]</sup>。因此,在国内,2007 年,谢志清等<sup>[15]</sup>以长江三角洲城市带为研究对象,利用 DMSP/OLS 夜间灯光数据提取 1992-2003 年研究区城市化空间扩展过程,结合土地利用统计数据和气象站常规资料、NOAA/AVHRR、MODLS 反演的月地表温度数据,定量考察了长江三角洲城市群热岛增温效应对区域温度气候趋势的贡献。该研究对城市规划和区域气候变化的预测评估都具有重要科学参考价值。

国外,利用 DMSP/OLS 数据进行热岛效应研究开展较早,也已有所成果,1995 年,Gallo 等<sup>[16]</sup>选取

表 3 基于 DMSP/OLS 数据的城市空间特征灯光指数研究方法总结  
Tab.3 The summary of research methods of urban nighttime light index based on DMSP/OLS data

方法	具体内容	优缺点分析	文献来源
相加灯光指数法	应用 DMSP/OLS 夜间灯光数据,将区域夜间灯光分布的平均灯光强度及面积属性线性加权,构建区域城市化水平相加灯光指数,通过分析灯光指数与城市化复合指标相关性,建立模型。	相加灯光指数构建权重可能因时、因区域、因样本而异,标准不统一,且构建相加灯光指数时,需要对数据误差和噪声进一步分析和处理。	2003 年,陈晋等 <sup>[10]</sup> 利用灯光数据,构造相加灯光指数,估算中国省级城市化水平。
CNLI 灯光指数法	将灯光数据去除噪声后,将某区域内灯光斑块的平均相对灯光强度与灯光斑块面积占区域总面积比相乘,构建 CNLI 灯光指数,与基于统计数据的城市化水平指数进行相关分析,建立模型。	CNLI 指数构建时无需确定权重、更加简单且具有一定物理意义的反映区域城市化综合水平等优点。	2003 年,卓莉等 <sup>[11]</sup> 利用该指数分析中国 20 世纪 90 年代省级城市化水平空间格局及变化特征。

了28个城市,回顾了利用其他卫星数据评估城市热岛效应的方法,通过结合NDVI指数比较,利用DMSP/OLS夜间灯光数据评价了热岛效应对气象记录的影响,为探索夜间灯光数据应用前景(表5)。

4 经济发展水平研究

为了准确了解一些贫困国家的国内生产总值(GDP)情况,美国布朗大学的研究人员认为,通过从太空评估一个国家夜间的照明强度,他们已经轻松化解了这道难题<sup>[17]</sup>。《新科学家》杂志报道,随着经济的发展,一些国家通常会新修道路,扩展居民区,这两项措施都会使从太空中看到的灯光强度增加。通过对11年来夜间灯光的卫星数据与国内生产总值统计数据进行比较,美国布朗大学的戴维·威尔(David Weil)及同事找到了一套仅凭灯光去评估某国国内生产总值变化的方法。一些国家经济增长迅速,建了更多的基础设施(如街道照明),而人们晚上也会打开更多的灯。这表明,从太空中看到的夜间灯光强度与一个国家的国内生产总值存在关联。在某些相关经济数据极少或存在误导的地区,这种经济情况评估方式会大有用武之地。

这一公式在应用于一些不发达地区以后,对官

方数据提出了种种质疑。他们的研究论文已提交给了《美国经济评论》。以刚果(金)为例,世界银行的统计数据表明该国国内生产总值在1992年至2003年间缩水2.6%,但威尔的研究<sup>[17]</sup>却发现,刚果(金)同期的国内生产总值增长2.4%。他说:“这不禁让我想到,刚果的问题同其统计数据而非经济本身有关。”据威尔<sup>[17]</sup>介绍,结合常规数据和灯光测量,最终可以提高当前国内生产总值数据的准确性。但他表示,研究人员首先需要更好地理解经济活动和灯光强度之间的联系。例如,人口增多可以增加灯光强度,即便是在经济低迷时期。

此外,Elvidge等<sup>[18]</sup>利用DMSP/OLS数据研究了国内生产总值及电力消耗与灯光面积之间的关系,发现了各国家的灯光面积与国内生产总值(GDP)具有高度相关性。这进一步证实了可以利用灯光强度来了解一个国家经济发展水平这一说法。

5 电力能源消耗量研究

以节约利用电力能源,提高其利用率,减少其消耗量,以达到更好地保护地球资源,有效实施可持续发展策略的目的为内容的相关研究,在学术界一直是热点领域。不少学者将DMPS/OLS夜间灯

表4 基于DMSP/OLS数据的人口密度模拟方法总结  
Tab.4 The summary of methods of simulating population density based on DMSP/OLS data

方法	具体内容	优缺点分析	文献来源
辅助资料比较法	利用DMSP/OLS数据提取城市空间格局信息,将该信息内容与人口密度图像数据进行比较,分析相关性,估算人口密度。	仅通过数据资料比较,进行研究,对数据资料前期处理要求较高且未建立模型,量化程度较低。	1997年,Sutton等 <sup>[13]</sup> 分析了美国州县尺度上灯光数据与人口密度数据相关性。
人口分布规律法	利用DMSP/OLS数据提取城市空间格局信息,根据经典的人口密度-距离衰减规律,建立模型,估算人口密度。	模型结果验证需要的数据量较大。	1997年,Sutton <sup>[9]</sup> 采用该方法分析美国城市人口密度与灯光数据相关性。 2001年,Lo <sup>[14]</sup> 利用该方法在行政单元尺度上估算了中国人口密度。 2005年,卓莉等 <sup>[12]</sup> 利用该方法得到网格单元尺度的中国人口密度估算。

表5 基于DMSP/OLS数据的热岛效应研究方法总结  
Tab.5 The summary of research methods about heat island effects based on DMSP/OLS data

方法	具体内容	优缺点分析	文献来源
NDVI指数评价法	结合区域NDVI指数特点,考察热岛效应。	仅利用NDVI指数考察,不够全面。	1995年,Gallo等 <sup>[16]</sup> 评价了28个城市热岛效应对气象记录的影响。
多种数据考察法	利用气象站资料、NOAA/AVHRR、MODLS反演月地表温度等多种数据,构建温度差序列,考察热岛效应。	采用辅助数据资料较多,资料获取难度需考虑。	2007年,谢志清等 <sup>[15]</sup> 定量考察了长江三角洲城市群热岛增温效应对区域温度气候趋势的贡献。

光数据与能源利用问题相结合研究讨论,并取得了一些进展。1980年,Welch<sup>[19]</sup>首先考虑根据美国夜间灯光数据图像,建立人口、城市面积以及电力能消耗量之间的关系模型。同时,选取了美国东部18个城市为样本,建立回归模型 $y=107.86x^{0.44}$ ,在国家或地区尺度上证明了利用夜间灯光数据检测电力能源消耗量的可行性。

1997年,Elvidge等<sup>[18]</sup>以美国、巴西、哥伦比亚等21个国家作为研究区,利用至少10%无云观测DMSP/OLS数据,分析了区域灯光灰度值与当地人口数量、GDP、电力能源消耗量之间的相关性,并建立了log of population( $R^2=0.85$ )、log of GDP( $R^2=0.97$ )、log of GWH( $R^2=0.96$ ) 3个log-log模型,证明了灯光数据在估算人口数量、GDP、电力能源消耗量等方面具有实际性意义。2005年,Amaral等<sup>[20]</sup>选取巴西亚马逊河流域作为研究区,分析了DMSP夜间灯光数据在区域尺度上与人口以及电力能源消耗量之间的关系,进而以该流域的Para州为例,证明了1996年灯光数据与城市人口统计数据,1999年电力能源消耗量与灯光数据,均符合线性相关性( $R^2=0.79$ )。2009年,Kiran等<sup>[21]</sup>利用DMSP/OLS数据,描述了印度1993-2002年的电力消费模式的时空变化特征。结果表明,10年间,伴随着印度全州夜间灯光总量上升了26%,国家的人口增加了17000万,电力能源消耗量从4496200万千瓦增加到了30635500万千瓦,并进一步分析了,夜间灯光数据与人口以及电力能源消耗量之间的相关性,指出,两者之间的相关系数分别为0.59与0.56(表6)。

6 城市化对生态环境影响研究

伴随着城市化过程的加速,由城市化过程带来

的生态环境问题也日益突出。就中国而言,很多城市中出现的因超采地下水而导致的地层下陷、垃圾包围城市和河流湖泊污染、大气污染等严重环境问题,已直接影响城市可持续发展战略<sup>[30]</sup>。基于此种情况,国内外很多学者考虑利用DMSP/OLS数据进行城市化对生态系统影响方面的研究,并取得了一些成果。

国内,2007年,李景刚等<sup>[22]</sup>利用DMSP/OLS数据对环渤海地区城市化空间过程重建,将植被初级生产力变化作为评价地区生态效应的主要指标,结合NDVI数据、全国DEM数据、土地利用统计数据、气象数据以及中国植被类型图数据,采用回归方程计算+残差0法,对地面月平均温度进行空间插值,提取地表月平均温度图,并以城市空间分布图为模板,根据累加NDVI和同NPP之间的统计关系,对比分析各土地覆盖类型城市地区与非城市地区的初级生产力,探索城市化过程对不同植被类型初级生产力所带来的影响。

国外,2000年Imhoff等<sup>[23]</sup>利用夜间灯光数据结合NOAA/AVHRR、NDVI数据,选取了7个较大城市,通过计算某一时间段内NDVI累加和来代表该时间段内的植被初级生产力总量,对城市化过程对美国植被初级生产力带来的影响进行了季节性研究,指出美国城市演化造成地表植被初级生产力总体下降,且植被初级生产力相对较高的地区正处于快速城市化过程中。2003年,Milesi等<sup>[6]</sup>基于Landsat TM图像及统计数据,利用DMSP/OLS数据获取了1992年美国东南部地区土地覆盖类型图和1992-2000年城市空间扩展图,进而结合MODISNDVI等数据,采用光能利用模型,计算分析该地区1992年植被初级生产力总量,以及1992-2000年由于城市扩展造成的植被初级生产力

表 6 基于 DMSP/OLS 数据的电力能源消耗量研究方法总结

Tab.6 The summary of research methods about the electric power consumption based on DMSP/OLS data			
方法	具体内容	优缺点分析	文献来源
相关性分析方法	利用相关分析及回归分析,建立模型,分析DMSP/OLS数据与电力能源消耗量之间相关性,并计算相关系数。	研究模型中侧重于考虑灯光面积指标,而常常忽略了灯光强度因子的考虑,将二者结合,可提高结果精度。	1980年,Welch等 <sup>[19]</sup> 利用该方法在国家尺度上证明了DMSP/OLS数据检测电力能源消耗量的可行性。
			1997年,Elvidge等 <sup>[18]</sup> 利用该方法通过灯光数据估算了美国等21个国家的人口数量、GDP以及电力能源消耗量。
			2005年,Amaral等 <sup>[20]</sup> 利用该方法,分析了巴西亚马逊河流域某州的人口数量、电力能源消耗量与灯光数据的线性相关。
			2009年,Kiran chand等 <sup>[21]</sup> 利用该方法计算了印度1993-2002年灯光数据与人口、电力能源消耗量之间的相关系数。



损失量。而后,2004年 Imhoff等<sup>[24]</sup>首先利用DMSP/OLS数据提取美国城市空间分布信息,结合土地覆盖分类图和NOAA/AVHRR NDVI等数据,采用CASA模型,对比分析了城市地区与非城市地区植被初级生产力的季节性变化规律,定量研究美国城市化过程对碳循环和粮食安全带来的影响。将国内外研究方法总结如表7。

7 结论与展望

经过近20年发展,DMSP/OLS夜间灯光强度数据研究已经受到各国学者广泛关注与重视,取得不少有意义的研究成果。总结国内外基于DMSP/OLS数据研究文献成果(图1),可见,数据在城市空间格局重建、城市扩展等城市发展研究领域<sup>[1-9]</sup>,成果最多,占总研究成果的33%,人类活动及效应相关研究领域<sup>[4,12-16]</sup>,成果也较多,占总研究成果的26%。在生态环境影响领域<sup>[6,22-24]</sup>研究成果相对较少,为总研究成果的13%,还有9%的研究关注于电力能源消耗量领域<sup>[18-21]</sup>方面。而在其它如灾害分析学<sup>[31-32]</sup>、人文地理过程等许多种学科领域研究成果很少,甚至没有。

随着科学技术的进步,DMSP/OLS数据资源越

来越丰富。如何更好地利用这些资源已成为各界学者关注的热点。通过分析归纳已有研究成果,笔者认为,对DMSP/OLS夜间灯光强度数据的未来研究趋势主要表现为以下4方面:

(1) 对数据本身处理方法的研究。卓莉等<sup>[11]</sup>在研究中指出,虽然数据经过了去云、去噪声等预处理过程,但由于大气及一些不确定因素的影响,数据中仍然存在一些影响分析结果的误差。所以为进一步提高数据精度,从而提高研究成果精度,关注于数据本身处理方法研究是非常有必要的。

(2) 数据应用领域应进一步扩展。目前,该数据主要应用于城市发展研究、人类活动及效应研究等领域,其它领域研究成果相对较少,基于此,应考虑将该数据研究进一步渗透到包括自然气候研究、低碳消耗研究、环境保护研究、区域经济研究等多种学科领域中,增加DMSP/OLS数据的应用范围。

(3) DMSP/OLS数据与其他数据模型的集成研究应进一步深化。现阶段,该数据集成研究主要体现在与GIS模型、经典人口密度-距离衰减模型的集成研究上。应进一步考虑将该数据与其它经典模型,如多智能体模型<sup>[33]</sup>进行集成研究。多智能体模型在分析和建立人类交互模型和交互理论中可以发挥重要作用,二者结合,可对地理学过程研究起到推动作用。

(4) 将现有研究成果结合,进一步研究。如研究城市群产业经济联系和城市群地区城市化过程驱动机制,将基于数据进行的城市空间信息特征提取与城市经济发展相联系,利用数据获取城市经济发展状况;利用数据可进行城市生态效应评价与城市人口密度模拟,进一步分析城市人口与生态环境之间的关系,为保护生态环境,实施可持续发展战略提供理论支持;将基于数据进行的城市经济水平

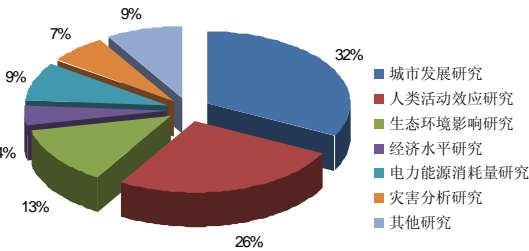


图1 基于DMSP/OLS数据研究成果领域分析  
Fig.1 Analysis of field of research results  
based on DMSP/OLS data

表7 基于DMSP/OLS数据的生态环境影响研究方法总结

Tab.7 The summary of research methods about effects on environment based on DMSP/OLS data			
方法	具体内容	优缺点分析	文献来源
植被初级 生产力 (NPP) 评价法	将植被初级生产力(NPP)作为衡量城市扩展对生态系统影响的一个指标,结合DMSP/OLS数据单独从土地利用变化角度定量研究城市扩展对生态环境的影响。	仅考虑了植被初级生产力(NPP)一个指标,单独从土地利用变化角度评价城市化对生态环境产生的影响并不全面。	2000年,Imhoff等 <sup>[23]</sup> 利用该方法,对城市化过程对美国植被初级生产力带来的影响进行了季节性研究。 2003年,Milesi等 <sup>[6]</sup> 采用该法分析了美国东南部地区1992年植被初级生产力总量,以及1992-2000年由于城市扩展造成的植被初级生产力损失量。 2004年,Imhoff等 <sup>[24]</sup> 采用该方法定量研究美国城市化过程对碳循环和粮食安全带来的影响。 2007年,李景刚等 <sup>[22]</sup> 利用该方法,结合多种数据,对比分析各土地覆盖类型城市地区与非城市地区的初级生产力。

研究与人类活动相结合,分析人类活动产生的灯光强度与全球经济发展水平的关系,从而为准确统计预测全球经济发展水平提供方法策略。

## 参考文献

- [1] 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. 遥感学报, 2003, 7(3): 168-175.
- [2] 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. 科学通报, 2006, 51(7): 856-861.
- [3] Henderson M, Yeh E T, Gong P, et al. Validation of urban boundaries derived from global night-time satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(3): 595-609.
- [4] Imhoff M L, Lawrence W T, Stutzer D C, et al. A Technique for Using Composite DMSP/OLS "City Lights" Satellite Data to Accurately Map Urban Areas. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 61(3): 361-370.
- [5] Sutton P. Modeling population density with nighttime satellite imagery and GIS. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1997, 21(3-4): 227-244.
- [6] Milesi C, Elvidge C D, Nemani R R, et al. Assessing the impact of urban land development on net primary productivity in the southeastern United States. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86(3): 401-410.
- [7] 何春阳, 李景刚, 陈晋, 等. 基于夜间灯光数据的环渤海地区城市化过程. 地理学报, 2005, 60(3): 409-417.
- [8] 卓莉, 李强, 郑璟, 等. 基于夜间灯光数据的中国城市用地扩展类型. 地理学报, 2006, 61(2): 169-178.
- [9] 王跃云, 徐昀, 朱喜钢. 江苏省城镇建设用地扩展时空格局演化: 基于 1993、1998、2003 年度夜间灯光数据的分析. *现代城市研究*, 2010(2): 67-73.
- [10] 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. 遥感学报, 2003, 7(3): 168-176.
- [11] 卓莉, 史培军, 陈晋, 等. 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. 地理学报, 2003, 58(6): 893-902.
- [12] 卓莉, 陈晋, 史培军, 等. 基于夜间灯光数据中国人口密度模拟. 地理学报, 2005, 60(2): 266-276.
- [13] Sutton P, Roberts D, Elvidge C, et al. A Comparison of Nighttime Satellite Imagery and Population Density for the Continental United States. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. 1997, 63(11): 1303-1313.
- [14] Lo C P. Modeling the population of China using DMSP operational linescan system nighttime data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2001, 67(9): 1037-1047.
- [15] 谢志清, 杜银, 曾燕, 等. 长江三角洲城市带扩展对区域温度变化的影响. 地理学报, 2007, 62(7): 717-727.
- [16] Gallo K P, Tarpley J D, McNab A L, et al. Assessment of urban heat islands: A satellite perspective. *Atmospheric Research*, 1995, 37(1-3): 37-43.
- [17] 秋凌. 太空拍摄城市夜间亮度折射全球经济发展不平衡. [2008-8-18]. <http://tech.sina.com.cn/d/2009-08-18/08043360474.shtml>.
- [18] 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. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18(6): 1373-1379.
- [19] Welch R. Monitoring Urban Population and Energy Utilization Patterns from Satellite Data. *Remote Sensing of Environment*, 1980, 9(1): 1-9.
- [20] Amaral S, Camara G, Monteiro A M V, et al. Estimating Population and Energy Consumption in Brazilian Amazonia Using DMSP Nighttime Satellite Data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2005, 29(2): 179-195.
- [21] 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 Nighttime Satellite Data. *International Journal of Remote Sensing*, 2009, 30(3): 647-661.
- [22] 李景刚, 何春阳, 史培军, 等. 基于 DMSP/OLS 灯光数据的快速城市化过程的生态效应评价研究: 以环渤海城市群地区为例. 遥感学报, 2007, 11(1): 115-126.
- [23] Imhoff M L, Tucker C J, Lawrence W T, et al. The Use of Multisource Satellite and Geospatial Data to Study the Effect of Urbanization on Primary Productivity in the United States. *IEEE, Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2000, 38(6): 2549-2556.
- [24] Imhoff M L, Bounoua L, Defries R, et al. The Consequences of Urban Land Transformation on Net Primary Productivity in the United States. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 89(4): 434-443.
- [25] 顾朝林, 徐海贤. 改革开放二十年来中国大陆城市地理学研究进展. 地理科学, 1999, 19(4): 320-331.
- [26] 吕安民, 李成名. 中国大陆省级人口增长率及其空间关联分析. 地理学报, 2002, 57(2): 143-150.
- [27] 王慧. 区域城市化发展水平的综合分析: 以山西省为例. 地理学与国土研究, 1997, 13(4): 14-20.



- [28] 曾鸿程, 孙育秋. 省区城市化水平等级图编制研究: 以四川省为例. 四川测绘, 1999, 22(2): 68-71.
- [29] 周秀骥. 长江三角洲地区近地层大气和生态系统相互关系的研究. 北京: 气象出版社, 2004.
- [30] Gosse G, Varlet-Grancher C, Bonhomme R, et al. Production Maximale de Matière Sèche Rayonnement Solaire Intercepté Par un Couvert Végétal. *Agronomie*, 1986, 6(1): 47-56.
- [31] Takashima M, Hayashi H, Kimura H, et al. Earthquake Damaged Area Estimation Using DMSP/OLS Night-time Imagery-Application for Hanshin-Awaji Earthquake. *IEEE*, 2000, 1(6): 336-338.
- [32] Kohiyama M, Hayashi H, Maki N, et al. Early damaged area estimation system using DMSP-OLS night-time imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(11): 2015-2036.
- [33] 柯新利, 边馥. 地理元胞自动机研究综述. 咸宁学院学报, 2009, 29(3): 103-106.

## Overview of Researches Based on DMSP/OLS Nighttime Light Data

WANG Herao<sup>1</sup>, ZHENG Xinqi<sup>1,2</sup>, YUAN Tao<sup>1</sup>

(1. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Laboratory of Beijing Land Resources Information Development, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** The stable lighttime data, the radiance-calibrated nighttime light intensity data and the non radiance-calibrated nighttime light intensity data are the three major products that have emerged in the field of the DMSP/OLS nighttime light data. It has several advantages, namely, easy acquisition of data, detection of low-intensity lights, unaffected by shadows, convenient provision of conditions for urbanization strength and its spatial-temporal difference analysis, and so on. At present, there are many research results on DMSP/OLS data, which mainly focus on city development, human activity and effect, eco-environment impact, but there are few studies on systematic results. This paper analyzed the existing researches on DMSP/OLS data, summarized and drew some conclusions based on the existing research results, the technical methods and the advantages and disadvantages of the methods, as well as explored the application prospect of DMSP/OLS nighttime light average intensity data. It predicted the future research trends of the data: (1) an in-depth study on processing methods of the data; (2) further expansion of data application; (3) the integrated study on DMSP/OLS data and other data models need to be deepened; (4) combine the existing research results, make further research on mechanism issues of geography phenomenon.

**Key words:** DMSP/OLS; urbanization; human activity; effect; economic level

本文引用格式:

王鹤饶, 郑新奇, 袁涛. DMSP/OLS 数据应用研究综述. 地理科学进展, 2012, 31(1): 11-19.