

· 前沿评述 ·

# 环境监测卫星 Suomi NPP 业务特性及生态环境监测应用

李旭文, 牛志春, 姜晟, 侍昊

(江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210036)

**摘要:** 介绍了美国 2011 年 10 月发射的环境监测卫星 Suomi NPP 的业务特性, 利用该卫星获取的可见光/红外成像辐射仪 VIIRS 遥感影像资料, 开展了其在江苏省生态环境监测工作中应用效果研究。结果表明, NPP 卫星 VIIRS 载荷可有效地对江苏省太湖蓝藻水华、秸秆焚烧火点等进行遥感监测和分析, 且观测性能较 MODIS 有所优化, 还提供了夜间灯光强度、气溶胶、大气颗粒物等遥感产品, 是生态环境监测的新型遥感信息源, 可提升宏观生态环境问题的遥感监测能力。

**关键词:** 环境监测; 卫星遥感; Suomi NPP; VIIRS; 生态评价

中图分类号: X87; X835

文献标识码: A

文章编号: 1674 - 6732(2014)03 - 0001 - 06

## Operational Characteristics of Environmental Monitoring Satellite Suomi NPP and Usage in Ecological Environment Monitoring

LI Xu-wen, NIU Zhi-chun, JIANG Sheng, SHI Hao

(Jiangsu Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210036, China)

**Abstract:** The operational characteristics of environmental monitoring satellite, Suomi NPP, which was launched in October 2011, was presented. To explore the application potential of the Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS). It is shown that sensors onboard NPP such as VIIRS and OMPS have been of great value for monitoring Cyano-bacteria blooms in Lake Taihu, fire burning spots of crop stub during the harvest session, and show better performance than predecessor MODIS. Furthermore, NPP sensors have been providing a variety of data products for monitoring night lighting intensity, aerosol, and particulate matter in the atmosphere. They are new remote sensing data sources and can play important role in promoting the capabilities of monitoring ecological environment.

**Key words:** Environmental Monitoring; Satellite remote sensing; Suomi NPP; VIIRS; Ecological analysis

过去十几年里,美国航空航天局(NASA)运行了很多卫星系统,最著名的有EOS系统(Earth Observation System)的Terra和Aqua卫星,搭载了MODIS、ASTER等传感器,尤其是MODIS获取的数据,自2007年来为江苏全省秸秆焚烧火点、太湖蓝藻水华、南黄海浒苔遥感监测发挥了极为重要的作用。由于MODIS等卫星传感器在轨运行时间较长,为了更为系统地观测全球生态环境系统的动态信息,确保基于MODIS数据的环境监测业务应用模式得以连续、继承,同时,为了提高对全球生态系统各类要素的全面、系统、综合性监测水平,2011年,由NASA、美国国家海洋大气管理局(NOAA)和美国空军共同研发,又发射了新的卫星系统Suomi NPP(NPOESS Preparatory Project的简称,也有资料认为

是National Polar-orbiting Partnership的简称,Suomi是国际著名的气象学家,NPP卫星以他的名字命名以示纪念)继续从太空中监测地球各类生态系统的健康状况,提供全球环境宏观监测长时间序列数据<sup>[1]</sup>。作为新型环境监测卫星,NPP获取的免费公益性数据在国内外环境监测领域的应用几乎还处于起步状态<sup>[2]</sup>,为此,对其业务特性及其在江苏省生态

收稿日期: 2014 - 05 - 26

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2013ZX07502001-05); 环保公益性行业科研专项(201309008); 全国生态环境十年变化(2000-2010年)遥感调查与评估-江苏省专题(STSN-05-10)。

作者简介: 李旭文(1966—),男,研究员级高工,硕士,从事环境信息系统、环境遥感应用、生态监测等领域的研究工作。

环境监测中的应用做了初步研究。

1 NPP 卫星主要载荷

NASA 和 NOAA 于 2011 年 10 月 28 日使用德尔它-2 火箭从范登堡空军基地成功发射 NPP 卫星,NPP 系统包括 5 个传感器(图 1),分别为 VIIRS、穿轨迹红外探测器 CrIS、先进技术微波探测器 ATMS、臭氧监测与廓线探测仪 OMPS、云层和地球辐射能测量系统 CERES。这些传感器可用于探测地球环境和大气,包括土地覆盖制图、植被变化,还能追踪大气臭氧和气溶胶以及海洋和陆地表面温度,监测海冰和陆地冰川,监控火山爆发、森林火灾、干旱、洪水、沙尘暴、飓风/台风等自然灾害。

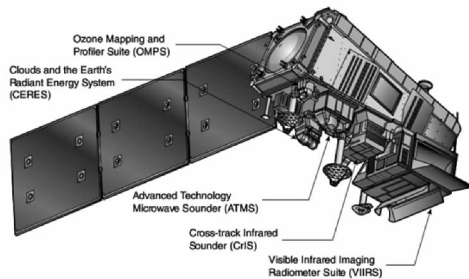


图 1 环境监测卫星 NPP 的 5 个主要传感器载荷

1.1 VIIRS

VIIRS (Visible infrared Imaging Radiometer Suite, 可见光/红外成像辐射仪) 重约 275 kg,由美国 Raytheon 公司研制,扫描幅宽 3 000 km,±56°,每 4 小时经过赤道一次,星下点空间分辨率优于 400 m;扫描带边缘空间分辨率约 800 m。VIIRS 可收集陆地、大气、冰层和海洋在可见光和红外波段的辐射图像。具有高和中分辨率两种工作模式,是 NOAA 卫星上高分辨率辐射仪 AVHRR 和 EOS 系统 TERRA 和 AQUA 卫星上中分辨率成像光谱仪 MODIS 系列的拓展和性能改进。VIIRS 具有 22 个光谱波段(表 1),分布在 0.3~14μm 波长区间。其中,可见光~近红外(0.4~0.9μm)有 9 个,短、中波红外(1~4μm) 8 个;热红外(8~12μm) 4 个。为监测夜间云层及全球夜间灯光强度分布,还专门设计了 1 个低照度条件下的中心波长位于 0.7μm 的可见光~近红外宽波段 DNB (Day - Night Band) [3]。

VIIRS 数据可用于测量云量和气溶胶特性、海洋和湖泊水色、水环境富营养化、藻类水华分布、海洋和陆地表面温度、海冰运动和温度、火点分布、空气中颗粒物浓度、夜间灯光强度监测、地球反照率,在气象、环境、生态领域具有非常广泛的用途。

表 1 VIIRS 的波段设置及技术参数

波段	中心波长/μm	波长范围/μm	波段说明	星下点分辨率/m
M1	0.412	0.402~0.422	可见光反射	742
M2	0.445	0.436~0.454		
M3	0.488	0.478~0.488		
M4	0.555	0.545~0.565		
M5	0.672	0.662~0.682		
M6	0.746	0.739~0.754	近红外	
M7	0.865	0.846~0.885		
M8	1.240	1.23~1.25	短波红外	
M9	1.378	1.371~1.386		
M10	1.61	1.58~1.64		
M11	2.25	2.23~2.28		
M12	3.7	3.61~3.79	中红外	
M13	4.05	3.97~4.13		
M14	8.55	8.4~8.7	热红外(长波红外)	
M15	10.763	10.26~11.26		
M16	12.013	11.54~12.49		
DNB	0.7	0.5~0.9	可见光反射	742
I1	0.64	0.6~0.68	可见光反射	371
I2	0.865	0.85~0.88	近红外	
I3	1.61	1.58~1.64	短波红外	
I4	3.74	3.55~3.93	中红外	
I5	11.45	10.5~12.4	热红外(长波红外)	

1.2 CrIS

穿轨迹红外探测器 CrIS( Cross - track Infrared Sounder) ,为具有 1 305 个红外通道的先进的傅里叶变换光谱仪,可确定从地面到上层大气的温、湿、压的垂直分布,幅宽约 2 200 km ,目的是用于提供高垂直分辨率的大气温度和水汽三维结构信息。主要为气象用途。

1.3 ATMS

先进技术微波探测器 ATMS ( Advanced Technology Microwave Sounder) ,能够在晴天或阴天条件下测量气温和湿度,主要为气象用途。

1.4 OMPS

臭氧监测与廓线探测仪 OMPS( Ozone Mapping and Profiler Suite) ,由天底点扫描臭氧绘图仪和临边扫描辐射计组成,天底点扫描臭氧绘图仪探测臭氧总量,临边观测设备可进行侧视观测,给出臭氧含量和高度之间的函数关系。可计算大气臭氧垂直和水平分布。

1.5 CERES

云层和地球辐射能测量系统 CERES ( Cloud and Earth Radiant Energy System) ,用于测量来自大气层上方的太阳反射和地球辐射,以及测量云层特

性,主要为气象用途。

2 数据的分级及处理

NPP 数据为免费使用的公益性数据,可以在 NOAA 的 CLASS ( NOAA’s Comprehensive Large Array - Data Stewardship System) 网站( <http://www.nsof.class.noaa.gov/saa/products/welcome>) 下载研究区域的 NPP 各传感器的数据。NPP 数据在接收处理后快速进入 CLASS 数据服务系统,过境后 3 ~ 6 小时内能在 CLASS 网站下载。也可以通过最新数据 FTP 服务器 ( <ftp://ftp-npp.class.ngdc.noaa.gov>) 或 MODIS/NPP 数据综合服务网站 ( <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>) 下载。

NPP 数据有 RDR( 原始数据记录)、SDR( 传感器数据记录)、EDR( 环境数据记录) 等不同级别处理水平的数据产品,均以 HDF5 格式组织和存储,最新发布的 ENVI5.1 遥感应用软件很好地提供了 NPP 数据的读取和处理支持。ENVI5.1 支持以原始( Raw) 格式显示影像、自动完成几何校正及 Bow - Tie 纠正两种方式打开影像。

NPP 卫星上各传感器对应的数据产品十分丰富,以 VIIRS 为例,在环境监测应用上有以下产品可以选用( 表 2) 。具体可根据实际需要下载。

表 2 VIIRS 数据处理级别及主要产品

处理级别	产品名称	说明
SDR 级	VIIRS Day Night Band SDR	DNB 昼夜灯光波段
	VIIRS Imagery Band 01( ~05) SDR	II ~ 15 波段影像
Geolocation 级	VIIRS Moderate Resolution Band 01( ~16) SDR	
	Aerosol ( aggregated) EDR Ellipsoid Geolocation	气溶胶分布,完成椭球体地理校正
	Day Night Band SDR Ellipsoid Geolocation	DNB SDR,完成椭球体地理校正
	Image Bands EDR GTM Geolocation	
	Image Bands SDR Ellipsoid Geolocation	II ~ 5 SDR,完成椭球体地理校正
EDR 级	Image Bands SDR Ellipsoid Terrain Corrected Geolocation	II ~ 5 SDR,完成椭球体地理校正和地形纠正
	Moderate Bands SDR Geolocation	M1 ~ 16 SDR,完成地理校正
	Moderate Bands SDR Terrain Corrected Geolocation	M1 ~ 16 SDR,完成地理校正和地形纠正
应用级	VIIRS Aerosol Optical Thickness ( AOT) EDR	气溶胶光学厚度( AOT)
	VIIRS Imagery Band 01( ~05) EDR	II ~ 5 波段影像
	VIIRS Land Surface Temperature EDR	陆面温度产品
	VIIRS Ocean Color/Chlorophyll EDR	海洋水色/叶绿素
	VIIRS Surface Type EDR	地表类型
	VIIRS Suspended Matter EDR	大气中颗粒物浓度产品
	VIIRS Vegetation Index EDR	植被指数
	VIIRS Active Fires ARP	火点产品

### 3 NPP 数据在生态环境监测中的应用

#### 3.1 太湖蓝藻水华监测

图2(a)(b)分别为北京时间2013年11月19日13时07分获得的VIIRS波段I3(R)I2(G)I1(B)彩色合成显示的中国东部影像和放大的太湖蓝藻水华分布影像,由于蓝藻叶绿素在I2波段的

中心波长 $0.865\ \mu\text{m}$ 处具有很高的近红外反射光谱特征,因此在影像上呈现为鲜亮的绿色。图2(c)(d)分别为当天北京时间11时15分TERRA MODIS、12时55分AQUA MODIS获得的通道6(R)2(G)1(B)彩色合成影像,这三个波段中心波长与VIIRS I3、I2、I1的中心波长相对应。

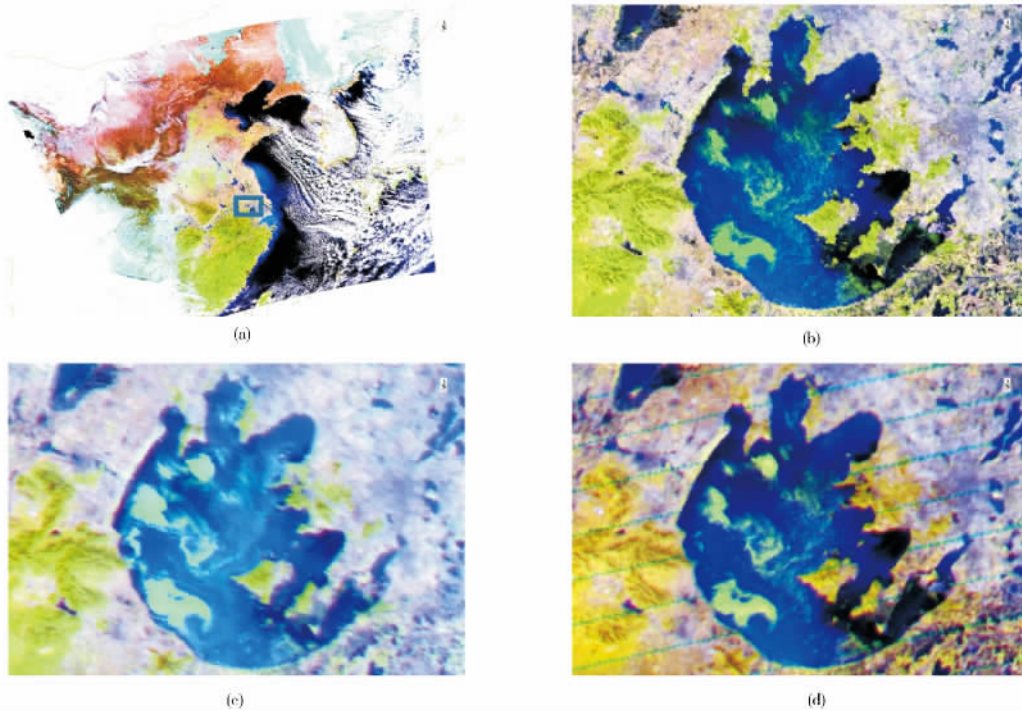


图2 VIIRS 传感器监测太湖蓝藻水华的效果及与 MODIS 传感器的比较

可以看出,VIIRS 对蓝藻水华的空间分布显示更为清晰、层次较分明,其它陆地地物也如此,Terra 和 Aqua 星的 MODIS 影像则质量略有模糊。这是因为 VIIRS 在太空运行时间只有两年,其3个波段都具有371 m 的光学分辨率,而 MODIS 只有两个250 m 星下点分辨率波段,其它波段为500 m 或1 km,在太空运行均已超过10年,仪器老化,光谱影像质量有所降低。由于有了NPP VIIRS 数据,因此在蓝藻水华遥感监测工作中,可开展两类传感器影像的协同应用,提高湖泊生态问题的监测识别能力。

#### 3.2 火点分布监测

利用NPP VIIRS 资料,可以监测秸秆焚烧火点信息,以及大气气溶胶、颗粒物的区域性分布。图3(a)为北京时间2013年6月17日13时11分VIIRS 火点产品显示的江苏省火点分布情况,火点集中分布在盐城滨海、响水、淮安涟水、徐州新沂、宿迁沭阳、宿豫等地,数量很多。当天的AQUA MODIS

影像得到的火点分布见3(b),分布区域与VIIRS 火点基本一致,但火点数要少些。这表明由于VIIRS 用于检测火点的通道具有比MODIS 更高的地面分辨率,M12~16通道星下点分辨率达742 m,4、15通道星下点分辨率达371 m,对地面热异常的感测更为灵敏,能够监测到数量更多的火点,对秸秆焚烧工作可以提供更为有力的卫星遥感信息保障。

#### 3.3 区域夜间灯光强度监测

随着工业化、城镇化以及现代服务业的快速发展,我国东部尤其是沿海经济发达地区能源消耗不断加大,区域夜间灯光强度的监测,可以在一定程度上反应当地的经济社会发展水平,也反映能源资源消耗状况。由于不少城市实施了城市亮化工程,区域夜间灯光也带来光污染问题,对鸟类等动物的栖息也带来生态影响。在VIIRS 专门设计了可以观测区域夜间灯光的DNB 波段,为监测与评价区域光污染提供了可能。

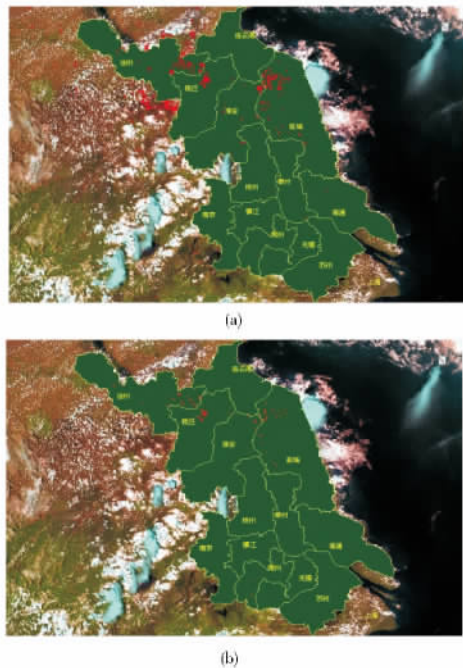


图 3 VIIRS ( a) 和 MODIS ( b) 获得的  
火点数量及分布的对比

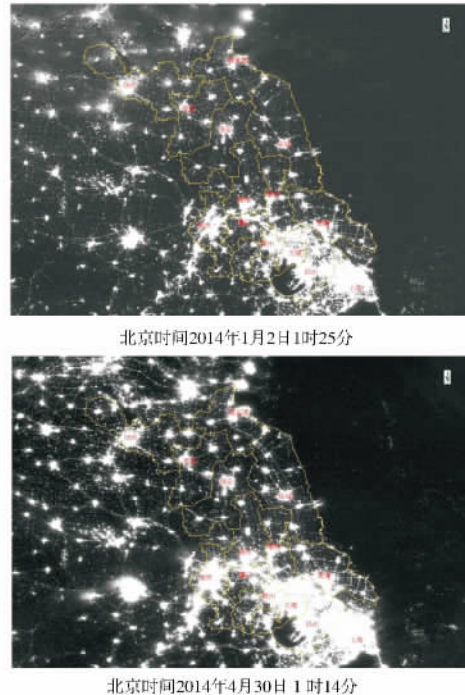


图 4 VIIRS DNB 获取的江苏省夜间灯光强度影像

分析 VIIRS 于北京时间 2014 年 1 月 2 日 1 时 25 分前后、2014 年 4 月 30 日 1 时 14 分前后获取的我国东部地区的夜间灯光强度影像(图 4),可以看出,长三角地区灯光强度较大,整体上已经区域连片,反映了作为中国经济活动最活跃、人口最密集、城镇化最快地区的经济社会发展程度。相应地,该区域的能源消耗、产业活动都处于高强度状态,人类活动对区域的生态系统也带来较大的压力和胁迫。从两景影像上也显示出全省夜间灯光强度均值从高到低依次为苏州 > 无锡 > 南京 > 常州 > 镇江 >

南通 > 泰州 > 扬州 > 徐州 > 淮安 > 连云港 > 盐城 > 宿迁,可以分为苏南、苏中、苏北 3 大类,苏北地区工业化、城镇化仍处于相对平缓的阶段,经济与社会发展水平需要提高。但另一方面,由于苏北地区非城镇生态系统类型占比较高,保留的生态空间可以为基于生态文明建设理念的更高水平的科学发展提供有力的承载。从夜间灯光强度来看,1 月 2 日凌晨要比 4 月 30 日凌晨略小,除去大气辐射传输校正因素外,可能和 1 月 2 日处于元旦假期、4 月 30 日处于工作日有一定的关联。

表 3 VIIRS DNB 监测的江苏省各省辖市区域平均灯光强度与经济、人口的关系

地区	地区生产总值 /亿元	年末全市常住 人口/万人	全市户籍人口 /万人	VIIRS DNB 监测的区域内平均灯光强度/( $w \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$ )	
				2014 年 1 月 2 日 1 时 25 分	2014 年 4 月 30 日 1 时 14 分
南京	8 011.78	818.78	643.09	5.644E-09	6.042E-09
无锡	8 070.18	648.41	472.23	8.105E-09	8.777E-09
徐州	4 435.82	859.1	1 006.85	1.692E-09	1.833E-09
常州	4 360.9	469.2	365.9	5.119E-09	5.283E-09
苏州	13 015.7	1 057.87	653.84	9.991E-09	1.029 6E-08
南通	5 038.9	729.8	766.5	2.825E-09	3.209E-09
连云港	1 785.42	442.83	520.18	1.422E-09	1.475E-09
淮安	2 155.86	482.69	552.96	1.249E-09	1.234E-09
盐城	3 475.5	721.63*	823.8	1.189E-09	1.145E-09
扬州	3 252.01	447	459.84	2.281E-09	2.499E-09
镇江	2 927.1	316.54	271.8	4.011E-09	4.391E-09
泰州	3 006.91	463.40	507.80	2.521E-09	2.786E-09
宿迁	1 706.28	481.9	572.11	1.233E-09	1.062E-09

注: 缺盐城市 2013 年末全市常住人口数据,以 2012 年末数据参与分析。



夜间灯光强度与当地的经济社会发展水平有密切的关联,表 3 列出了 VIIRS DNB 监测的江苏省各辖市区域平均灯光强度与当地经济、人口统计数据。为了分析区域灯光强度水平与经济人口统计数据之间的关系,先计算区域内各像元的灯光强度之和 C:

$$c = (\sum_{i=1}^n DNB_i / n) \cdot S$$

式中  $n$  为区域所有像元数量,  $DNB_i$  为各像元的 DNB 辐亮度值( $w \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ ),  $S$  为该区域的面积( $km^2$ )。

图 5(a)(b) 分别为 1 月 2 日凌晨、4 月 30 日凌晨 NPP VIIRS DNB 波段监测各辖市域 C 值与地区生产总值关系的散点图,图 5(c)(d) 分别是 1 月 2 日凌晨各辖市域 C 值与 2013 年年末全市常住人口、全市户籍人口的散点图。可以看出,地区生产总值越大的辖市,区域灯光强度越高,正相关线性关系明显。有的辖市,如南京和无锡、镇江与泰州,具有相近 GDP,存在灯光强度的较大差异;有的辖市如盐城与淮安,具有相近灯光强度,但 GDP 有较大差异;有的则存在较大的趋同性,如泰州和扬州、连云港和宿迁。这些特征,反映了各地产业结构、经济发展水平、城市建设水平、居民生活水平的不同。C 值与各辖市 2013 年年末全市常住人口有一定的正相关,但与全市户籍人口的相关关系较弱,表明 VIIRS DNB 能在一定程度上反映各地常住人口情况。

#### 4 结语

Suomi NPP 卫星是 Terra/Aqua/Aura 之后的一颗重要的业务验证型对地观测卫星,旨在实现对大气、水、生态问题的一体化综合观测理念。以上的初步应用表明,NPP VIIRS 对生态环境问题的监测能力在 MODIS 基础上得到了延续、加强,并且有新的拓展,为开拓生态环境监测卫星遥感数据源增加了一种选择。在 NPP 之后,美国还计划发射名为“联合极地卫星系统”(NPOESS)的新一代极轨环境监测卫星系列,构成更加完善的面向业务化运行的全球生态系统观测和监控卫星网。NPP 上 OMPS 对大气层臭氧的分布也有颇具特色的监测能力,进一步加强这些国外公益性生态环境遥感监测资料的应用,与地面业已完善和成熟的地表水、空气质量监测站网相结合,是国内各级环境监测部门拓展新业务、丰富生态监测服务产品的新机遇。

今后,还需要开展更多的探索和实践,建立业务流程和处理、分析、评价技术规范,以显著提高天地一体化生态环境监测水平。

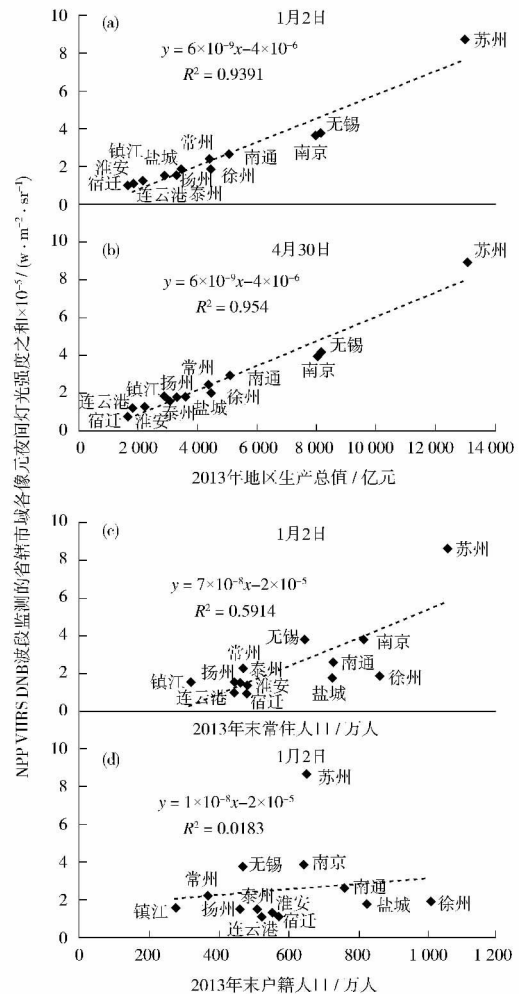


图 5 夜间灯光强度与各地经济、人口统计数据的相关关系

#### [参考文献]

[1] 赵增亮,孙泽中,韩志刚,等. NPOESS/VIIRS 及其云图产品的应用[J]. 气象科技 2008, 36(3): 341-345.

[2] L. B. Liao, Stephanie Weiss, Steve Mills. Suomi NPP VIIRS day-night band on-orbit performance[J]. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: ATMOSPHERES, 2013, 118: 12705-12718.

[3] 高义,王辉,王培涛,等. 基于人口普查与多源夜间灯光数据的海岸带人口空间化分析[J]. 资源科学 2013, 35(12): 2517-2523.

(栏目编辑 沈红军)