

文章编号:2095-6134(2017)03-0296-08

夜光遥感在“一带一路”战略中的应用潜力展望^{*}

江 威^{1,2}, 何国金^{1,3,4†}, 彭 燕^{1,3,4}, 王桂周^{1,3,4}, 王猛猛^{1,2}

(1 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100094; 2 中国科学院大学, 北京 100049;
3 海南省地球观测重点实验室, 海南 三亚 572029; 4 三亚中科遥感研究所, 海南 三亚 572029)
(2016 年 8 月 26 日收稿; 2016 年 11 月 2 日收修改稿)

Jiang W, He G J, Peng Y, et al. Application potentiality and prospects of nighttime light remote sensing in “the Belt and Road” initiative[J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2017, 34(3): 296-303.

摘 要 面向“一带一路”战略对沿线国家空间认知的现实需求, 阐述该战略的地理科学内涵。结合对地观测的优势和特点, 总结“一带一路”对地观测应用领域。回顾夜光遥感在对地观测中的独特优势, 指出夜光遥感在油气开采时空信息挖掘、社会经济参数估算、生态环境评估、城市化过程重建等领域具有应用潜力。认为夜光遥感在服务“一带一路”战略中具有独特作用, 契合该战略的地理科学内涵和对地观测科学要素, 可为“一带一路”战略的实施提供重要的空间信息支持。

关键词 一带一路; 夜光遥感; 地理科学内涵; 对地观测要素; 时空信息挖掘
中图分类号: TP75 **文献标志码**: A **doi**: 10. 7523/j. issn. 2095-6134. 2017. 03. 004

Application potentiality and prospects of nighttime light remote sensing in “the Belt and Road” initiative

JIANG Wei^{1, 2}, HE Guojin^{1, 3, 4}, PENG Yan^{1, 3, 4}, WANG Guizhou^{1, 3, 4}, WANG Mengmeng^{1, 2}
(1 Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Key Laboratory for Earth Observation of Hainan Province, Sanya 572029, Hainan, China; 4 Sanya Institute of Remote Sensing, Sanya 572029, Hainan, China)

Abstract “The Belt and Road” initiatives, with its wide range, diverse cultures, and vulnerable ecological environments, needs the earth observation technology to deal with various new challenges. In this work, firstly the geographical scientific connotation of “the Belt and Road” initiatives was analyzed, and then the capability of nighttime light remote sensing was explored and the application areas of this technology in “the Belt and Road” initiatives construction were summarized. Furthermore, the advantages of nighttime light remote sensing in earth observation technology were reviewed. In order to meet the requirements of the countries along the belt and road, four nighttime light remote sensing application areas, i. e. , the gas fire spatiotemporal information mining, social economic parameter estimation, ecological environment evaluation, and reconstruction of the

^{*} 国家重点研发计划全球变化及应对专项(2016YFA0600302), 海南省重大科技计划项目(ZDKJ2016021, ZDKJ2016015-1)和中国科学院遥感与数字地球所所长青年基金(Y6XS620030)资助

[†] 通信作者, E-mail: hegj@radi. ac. cn

urbanization process, were put forward in this work. The implementation of these applications will effectively support the decision making for the countries along the belt and road.

Keywords the Belt and Road; nighttime light remote sensing; geographical scientific connotation; earth observation; spatial and temporal information mining

2015年3月17日,国家发改委、外交部和商务部联合发布《推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动》(以下简称《愿景与行动》),“一带一路”战略已成为中国国家发展战略^[1]。“一带一路”战略区横跨欧亚非三大洲,拥有世界人口的75%,财富总量的60%和化石能源的75%,是全球化发展的地缘大战略^[2]。该战略具有地理空间辽阔、自然环境复杂和经济差异显著等特点,因此,在推进该战略实施过程中空间信息辅助决策十分关键。

当前,全球对地观测领域进入以高精度、全天候信息获取和自动化快速处理为特征的新时代,全球遥感技术已经得到前所未有的快速发展^[3],中国也率先实施了高分辨率对地观测系统重大专项,在空间信息保障能力显著提升。空间观测技术具有范围大、周期短、成本低等特点,能够快速、准确、客观获取地表自然和人类活动信息。在遥感空间信息获取中,夜光遥感是遥感领域发展活跃的一个分支^[4],相比于传统的光学和雷达遥感卫星,夜光遥感是获取无云条件下地表发射的可见光-近红外电磁波信息,这些信息大部分由地表人类活动发出,其中最主要的是人类夜间灯光照明,同时也包括石油天然气燃烧、海上渔船、森林火灾以及火山爆发等来源^[5],夜光遥感影像现已被广泛应用于社会经济参量估算^[6-7]、城市监测^[8-9]、重大事件变革^[10-11]、生态环境评估^[12-13]以及公共健康^[14]等领域。

夜光遥感卫星目前有两种主要数据源:美国国防气象卫星(defense meteorological satellite program's, DMSP)搭载的可见光成像线性扫描业务系统(operational linescan system, OLS)(以下简称DMSP/OLS)和国家极轨卫星(Suomi national polar orbiting partnership, Suomi-NPP)搭载的可见光近红外成像辐射(visible infrared imaging radiometer suite, VIIRS)(以下简称NPP/VIIRS),两种数据分辨率分别为2 700 m和740 m。相比其他中高分辨卫星,夜光遥感卫星由于其幅宽大、分辨率较低、重返周期高和时间序列长,能够揭示长时序人类宏观地表社会经济活动规律,在评估

地表人类活动及其产生的生态环境效应上具有独特优势^[4]。“一带一路”战略是国家和区域经济发展战略,着眼资源保障、经济发展、生态环境和人居发展等现实需求,夜光遥感特质契合多项现实应用需求。因此,本文从“一带一路”地理科学内涵出发,结合目前对地观测特点,总结对地观测科学在“一带一路”战略中的应用领域,综合夜光遥感在对地观测中优势和特质,阐述夜光遥感在“一带一路”中的应用潜力。

1 “一带一路”地理科学内涵

“丝绸之路”最早由德国地理学家李希霍芬提出,最早指中国与中亚以及印度连接起来的丝绸贸易通道,而后扩大范围将连接东、西方贸易之路也称为“丝绸之路”^[15]。法国汉学家沙畹认为“丝绸之路”有海陆两道^[16],日本学者三杉隆敏在《探索海上丝绸之路》一书中进行详细阐述,提出“海上丝绸之路”^[17]。2013年中国国家主席习近平相继提出共同建设“丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”(简称“一带一路”)倡议。由此可见,“一带一路”的概念和空间内涵存在时间演化,并且“一带一路”是一个开放合作的战略,欢迎所有地区和国家都能参与到“一带一路”建设中来,因此“一带一路”并不能简单划定具体的国家范围。然而,所有的地理现象过程必须落实到具体的空间范围上,《愿景与行动》也明确提出“一带一路”战略贯穿欧亚非大陆,以和平、合作、发展、共赢的态度联合更多国家和地区参与进来,这样也明晰地理空间范围,才能便于探讨“一带一路”地理科学内涵^[1]。根据《愿景与行动》提到的地理空间范围,以2012年DMSP/OLS夜光遥感影像作为底图,笔者绘制了“一带一路”路线图和重要城市节点示意图,如图1所示。

从图1可以看出,“一带一路”主要依托陆上和海上经济走廊开展区域合作方式,“一带”主要以沿线重要陆上节点城市为支撑,重建欧亚大陆桥贸易通道,从中国西安出发,经过新疆-中亚国家-西亚,连通欧洲,“一路”以沿线重要港口为节点,从福建出发,沿东南亚国家,穿过马六甲海

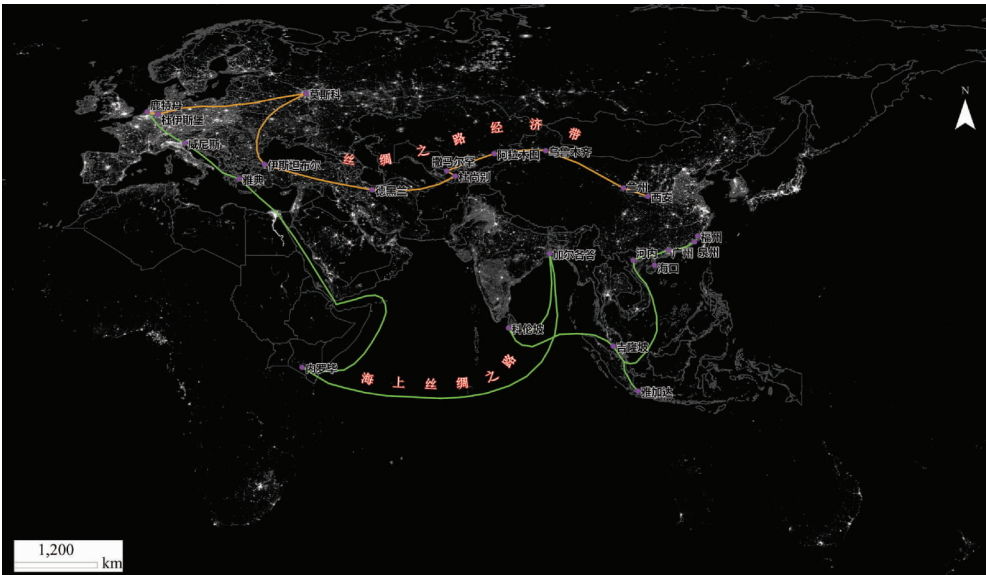


图 1 “一带一路”路线和主要城市节点示意图

Fig. 1 Key lines and nodes along the Belt and Road in nighttime light imagery

峡,经印度洋,穿红海,串通地中海沿线国家。

针对“一带一路”地理内涵,刘卫东^[1]提出“一带一路”4项地理学研究议题,分别为:全球化时代地缘政治关系的核心要素和驱动机制,沿线国家的国别地理研究,“一带一路”框架下的对外直接投资理论和海陆运输的空间组织。这4项议题指出“一带一路”建设中地理学亟须研究方向。

杜德斌和马亚华^[2]从时间和空间两个维度分析“一带一路”地缘战略内涵,预测4个战略风险,并以5大战略地理支点整体勾画出“一带一路”地缘战略的总体轮廓,刘新华^[18]认为地缘政治最基本的内核是其地理要素,主要包括:地理位置、国土幅员、邻国关系、地形与气候、自然资源和空间距离6个地理要素,进一步明确资源在全球地缘政治中作用,包括自然、人力、资本、文化等多项资源角逐和把控。因此,“一带一路”战略是综合性经济实力和资源流动的地缘战略,涵盖综合国力、资源禀赋以及文化实力等多个方面。

由于各国区域环境和文化背景差异,沿线国家的国别地理研究对于政策制定和规划实施具有重要作用,需要对沿线国家,以区域和国别地理研究视角开展包括政治法律、行政、文化、宗教、人口、经济、社会结构和资源环境研究。在国别地理中,人口和经济等社会参量估算是投资环境考察最重要的辅助地理信息,但往往受各国统计制度以及部门职能设置不同的制约,导致统计数据无法直接对比,造成无法准确客观地评估投资环境。

而对地观测技术则能够辅助区域社会经济评估。

“一带一路”是经济合作战略,因此发展对外直接投资理论能够直接服务内外境投资建议咨询。郑蕾和刘志高^[19]提出“一带一路”沿线直接投资空间分析框架,并分析直接投资的空间分布和产业选择,与国外投资战略对接。对于构建对外投资战略发展,其着眼点有两个:1)投资国的自然禀赋和社会文化背景,2)双方的合作基础和民心相通,对地观测技术能够对双方的自然禀赋和经济发展空间效应进行客观准确评估,为双方的合作谈判和互惠投资奠定基础。

“一带一路”早期主要以货物流通成为东西方经济交流的重要纽带,在当前全球经济化和贸易化浪潮背景下,急需发展新时期海陆货物运输的空间组织。曹小曙等^[20]分析陆路交通的丝绸之路经济带可达性与城市空间联系,提出“点-轴”带动的发展措施推进发展城市走廊建设。海上丝绸之路以港口城市为节点发展海洋货运组织,传统的方法难以快速监测沿线国家节点城市和港口发展状态,对地观测技术能够快速识别和高频次监测城市和港口活动情况,为货物运输空间组织理论发展提供空间信息保障。

2 对地观测科学服务“一带一路”战略

从空间观测角度,郭华东和肖函^[21]提出“数字丝路”的框架,指出对地观测科学应用领域有6

个方面:生态环境动态分析、重大自然灾害风险综合研究、水资源时空格局与安全性、城镇化与自然文化遗产地监测、典型海域与海岸带环境变化以及农情监测与粮食安全。以中国科学院遥感与数字地球所为主办方分别在2015年11月和2016年5月举行“海上丝绸之路空间认知国际研讨会”和“一带一路空间认知国际会议”,汇报了将对地观测技术应用于“一带一路”的最新进展。2016年科技部正式发布《全球生态环境遥感监测2015年度报告》^[22],其中《“一带一路”生态环境状况》报告中采用多源对地观测遥感数据详细分析该区域陆地、海域、经济走廊、内陆和港口节点城市生态环境状况,凸显了对地观测科学在“一带一路”生态环境应用中的重要作用。

“一带一路”以资源禀赋为基础,城市为节点,经济文化为桥梁,打造符合沿线国家发展利益,是提升人民幸福生活的全球化战略。从现实需求出发,对地观测科学应该重点服务于资源保障、社会经济、生态环境和人居发展等方面。高空间分辨率、高频次重返卫星能够有效识别油田、煤炭等典型资源特征地物,尤其对资源富集区域进行高频监测,为资源进出口以及相应的基础设施安全提供辅助空间信息。对地观测技术优势在于能够快速准确获取人类地表活动信息,可为沿线国家开展社会经济历史重建、评估和预测等应用研究。对地观测技术快速监测降水、温度、湖泊水面、土壤水分、地下水储量和地表覆盖等地表生态要素^[23],可为“一带一路”生态脆弱区环境承载力、生态服务价值以及生态保护补偿等提供信息支撑。对地观测技术能够开展包括城市扩展、耕地种植、粮食供给以及文化遗产保护等人居发展研究,

可为该区域人居环境发展提供评估信息支持。

3 夜光遥感在“一带一路”中的应用潜力

与日间遥感不同是,夜光遥感是捕捉无云条件下城镇灯光、渔船灯光和火点等电磁辐射信息,在揭示人类社会活动规律上具有独特优势,李德仁和李熙^[24]指出夜光遥感在评估和保障经济社会发展质量有3个应用领域:区域发展评估、光污染分析调查和环境评估,认为夜光遥感技术能够有效监测“一带一路”沿线国家经济社会动态。针对“一带一路”对地观测现实需求,笔者从油气开采时空信息挖掘、社会经济参数估算、生态环境评估、城市化过程重建4个方面分别阐述夜光遥感在“一带一路”战略中的应用潜力。

3.1 油气开采时空信息挖掘

1973年,Croft^[25]最早利用夜光遥感监测油田废气燃烧,首次证实夜光遥感能够用于开展油气开采时空信息的识别。由于油气燃烧所产生的温度范围为1500~3000K,辐射亮温远高于照明灯光和燃烧火点,在夜光遥感影像尤其突出,据此可利用夜光遥感实现油气开采信息挖掘^[26],图2是美国SkyTruth机构(<http://skytruth.org/viirs/>)利用VIIRS影像监测全球油气火点,对比两个时期监测结果,2015年油气开采强度明显低于2016年,并且2016年监测结果直观反映油气开采的热点区域。“一带一路”区域拥有全球75%的化石能源,西亚地区有“世界石油桶”之称,涵盖世界上石油储量最大,生产和输出石油最多的国家。利用夜光遥感可充分挖掘油气开采时空强度信息,构建油气燃烧量与夜光遥感强度模型,从而估算

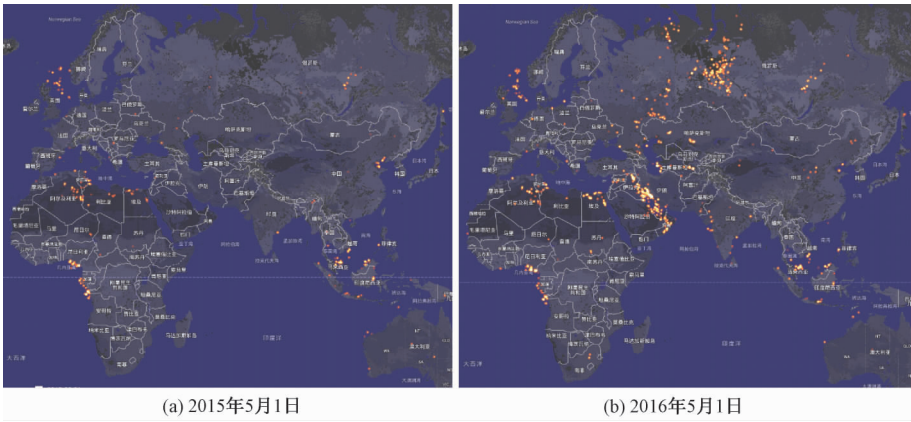


图2 夜光遥感油气监测
Fig.2 Gas fire monitoring using the nighttime light remote sensing

区域乃至全球油气燃烧量^[27]。油气主要成分为甲烷,依据甲烷燃烧产生二氧化碳定量关系,可进一步定量评估油气燃烧对二氧化碳排放量的贡献^[24],为区域和全球气候变化研究提供基础数据。

3.2 社会经济参量估算

由于“一带一路”沿线涉及 65 个国家,各国经济发展水平具有显著差异,因此评估沿线国家社会经济状况对于“一带一路”投资和建设具有重要意义。目前,大多数国家均是根据本国需要制定社会经济参量统计口径,并依据行政范围统计汇总社会经济参量,缺乏时效性和空间细节信息,而且不利于国家之间直接对比^[28]。夜光遥感

与人类活动高度关联,同时具有高时空分辨率特点,能够极大提高社会经济参量估算精度和制图效率。分别统计分析 2000、2005 和 2010 年“一带一路”沿线国家 GDP 和夜光遥感总值(TNL)线性回归关系,如图 3,结果表明夜光遥感总值与 GDP 参量具有较好的线性回归关系,进一步证实了夜光遥感开展“一带一路”社会经济参量估算潜力,将来可利用夜光遥感影像进一步估算该区域国民生产总值、人口分布、能源消耗、二氧化碳排放、贫困度、货运量等关键社会经济参量,有助于宏观了解沿线国家社会经济发展历程和现状,为制定投资规划和开展经济合作提供信息支撑。

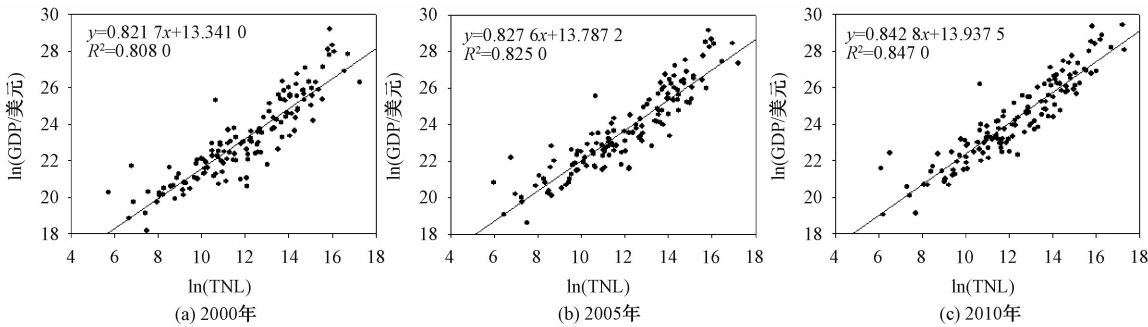


图 3 “一带一路”沿线国家夜光遥感总值 (TNL) 与 GDP 线性回归

Fig. 3 Relationship between the total of nighttime light and GDP of the countries along the Belt and Road

3.3 生态环境评估

“一带一路”分为陆上丝绸之路和海上丝绸之路。陆上丝绸之路沿线国家和地区包含大面积沙漠和戈壁,年降水量小、水资源贫乏、生态环境脆弱、人居环境相对恶劣,制约了沿线国家经济发展^[29]。海上丝绸之路由于对海洋资源的争夺和过度开发,导致渔业资源贫乏、珊瑚礁白化以及海水污染,严重威胁海洋生态系统可持续发展^[30],因此开展该区域生态环境评估研究至关重要。经济发展驱动下的城市扩展带来了耕地侵占、植被破坏以及地表覆盖快速变化等生态问题,而夜光遥感可作为监测城市扩展最便捷的数据,因此,以夜光遥感影像作为主要数据源,综合其他如植被、土壤侵蚀以及土地覆盖等遥感数据,能够快速监测以上生态环境问题,并能进一步评估生态服务价值,如图 4。另外,夜光遥感带来的光污染已成为全球广泛关注的环境污染问题,造成能源浪费、动植物作息异常以及癌症发病率增长,形成的散射光对天文观测也会造成影响,夜光遥感可用于快速精准评估光污染以及产生的生态环境效应^[31]。针对海洋渔业生态系统,夜光遥感能够高

效捕捉渔民利用高功率照明开展渔业捕捞活动的信息,据此可实现海洋渔业捕捞监管,为合理利用海洋渔业资源提供空间辅助信息^[13]。与此同时,人类海洋过度活动会对珊瑚礁造成破坏,夜光遥感能够有效监测人类海洋活动,结合夜光遥感和珊瑚礁地面调查数据,可定量评估珊瑚礁生态脆弱区人类活动影响^[32]。

3.4 城市化过程重建

“一带一路”陆上和海上主要以城市作为节点,承载着区域经济发展的未来。由于城镇在夜间利用照明设施发出亮光,夜光遥感能够有效捕捉灯光辐射信息,可利用夜光遥感影像准确识别提取城市^[33]。目前,DMSP/OLS 是全球最长时间序列(1992—2013 年)的夜光遥感影像,校正后能够达到较高的时空一致性,能够进行长时间序列对比^[34],可以用来重建沿线国家城市化过程^[8],利用 1992、2002 和 2012 年三期 DMSP/OLS 夜光遥感影像合成“一带一路”地区夜光遥感图,如图 5。白色表示夜光灯光不变区,红色表示夜间灯光扩展区,蓝色和绿色表示夜间灯光下降区。从图 5 可以看出,日本和西欧发到国家夜间灯光较

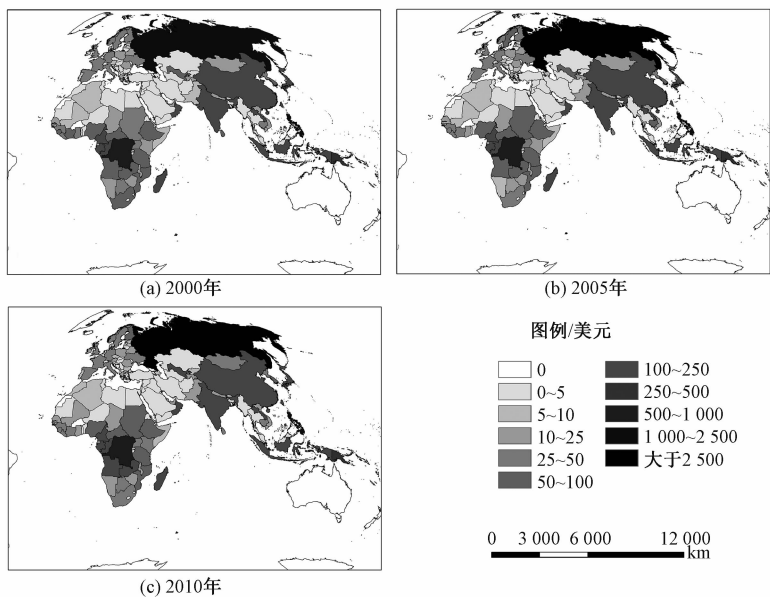


图 4 “一带一路”沿线国家生态经济价值评估
Fig. 4 Ecological economic evaluation for the countries along the Belt and Road

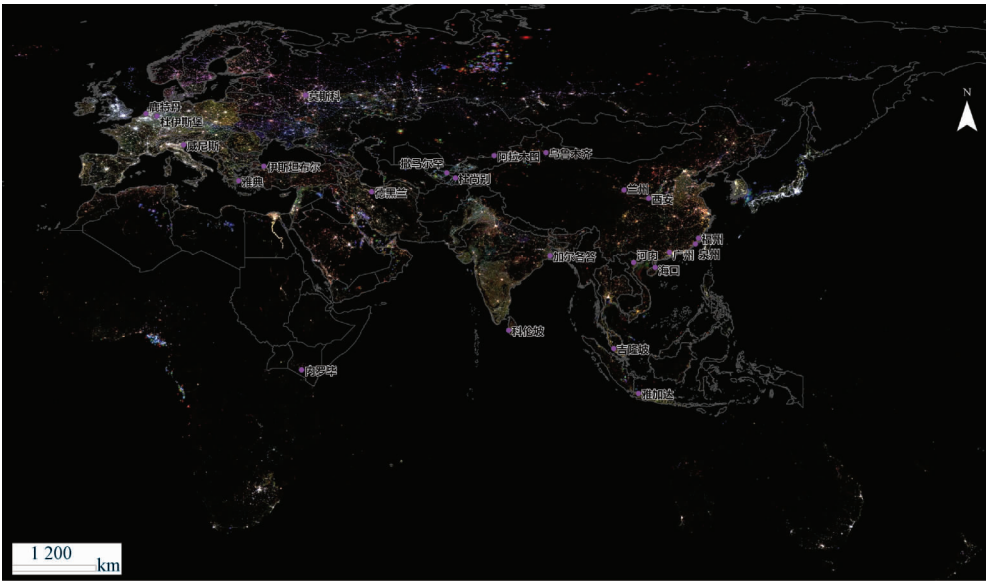


图 5 “一带一路”夜光遥感影像合成图
Fig. 5 The composite image of nighttime light image along the Belt and Road

稳定,而中国、印度以及东欧发展中国家夜间灯光呈明显增长趋势。因此,利用夜光遥感可直观反映城市化空间扩展过程,有助于分析城市群和城市空间结构演化规律,此外,利用历史时序数据可重建过去 20 年沿线国家城市化发展历程,为沿线国家城市化规划和区域城市网络体系发展提供科学支撑。

4 结论

“一带一路”战略是中国面向全球经济一体

化制定的重大战略举措,对于中国和沿线国家开放合作会产生极大促进作用。该战略横跨欧亚大陆,具有重要地缘政治战略意义,沿线国家社会文化以及产业环境差异显著,需要构建符合多方资源禀赋的对外投资理论,发展新时期海陆货物运输的组织。对地观测科学能够在资源保障、社会经济、生态环境和人居发展等方面服务于“一带一路”战略。

夜光遥感能够直观反映地表人类社会活动。回顾夜光遥感最新研究进展,并与“一带一路”现

实需求对接,展望夜光遥感应应用价值和前景,详细阐述夜光遥感在“一带一路”战略中 4 个应用方面(油气开采时空信息挖掘、社会经济参数估算、生态环境评估、城市化过程重建)的潜力,可为“一带一路”沿线国家参与者和决策者提供空间信息支撑。

“一带一路”战略涉及多个学科领域,既要有综合宏观的战略顶层设计,也要有精确客观的信息技术保障。对地观测科学能够为该战略提供丰富的空间信息支撑,夜光遥感作为对地观测科学中的一个新兴分支,更是能以独特视角对地表人类活动规律进行深刻认知。但仅就夜光遥感而言,其成像特性决定其只能在特定应用领域中发挥作用,数据自身也存在分辨率较粗、与社会经济关联机理不清晰以及缺乏地面辐射定标等不足。未来,随着夜光遥感的发展,高空间分辨率夜光遥感卫星和夜光遥感视频卫星技术成熟应用,必将进一步拓展夜光遥感在“一带一路”战略中的应用。

本文所使用的夜光遥感影像数据来源于美国国家海洋和大气管理局(NOAA)国家地理数据中心(NESDIS)(<http://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/DownloadV4composites.html>),沿线国家 GDP 来源于世界银行(<http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators/>)发布数据,在此表示衷心感谢!

参考文献

- [1] 刘卫东. “一带一路”战略的科学内涵与科学问题[J]. 地理科学进展, 2015, 34(5): 538-544.
- [2] 杜德斌, 马亚华. “一带一路”: 中华民族复兴的地缘大战略[J]. 地理研究, 2015, 34(6): 1 005-1 014.
- [3] 何国金, 王力哲, 马艳, 等. 对地观测大数据处理: 挑战与思考[J]. 科学通报, 2014, 60(5/6): 478.
- [4] 李德仁, 李熙. 论夜光遥感数据挖掘[J]. 测绘学报, 2015, 44(6): 591-601.
- [5] Elvidge C D, Cinzano P, Pettit D R, et al. The nightsat mission concept [J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(12): 2 645-2 670.
- [6] Zeng C Q, Zhou Y, Wang S X, et al. Population spatialization in China based on night-time imagery and land use data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2011, 32(24): 9 599-9 620.
- [7] He C Y, Ma Q, Liu Z F, et al. Modeling the spatiotemporal dynamics of electric power consumption in Mainland China using saturation-corrected DMSP/OLS nighttime stable light data [J]. International Journal of Digital Earth, 2013, 7(12): 993-1 014.
- [8] 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.
- [9] 舒松, 余柏菡, 吴健平, 等. 基于夜间灯光数据的城市建成区提取方法评价与应用[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(2): 169-176.
- [10] Li X, Li D R. Can night-time light images play a role in evaluating the Syrian Crisis? [J]. International Journal of Remote Sensing, 2014, 35(18): 6 648-6 661.
- [11] Li X, Ge L L, Chen X L. Detecting zimbabwe's decadal economic decline using nighttime light imagery [J]. Remote Sensing, 2013, 5(9): 4 551-4 570.
- [12] Bennie J, James P D, Thomas W D, et al. Global trends in exposure to light pollution in natural terrestrial ecosystems [J]. Remote Sensing, 2015, 7(3): 2 715-2 730.
- [13] Cho K, Ito R, Shimoda H, et al. Fishing fleet lights and sea surface temperature distribution observed by DMSP/OLS sensor [J]. International Journal of Remote Sensing, 1999, 20(1): 3-9.
- [14] Bharti N, Tatem A J, Ferrari M J, et al. Explaining seasonal fluctuations of measles in niger using nighttime lights imagery [J]. Science, 2011, 334(6061): 1 424-1 427.
- [15] 王心源, 刘洁, 骆磊, 等. “一带一路”沿线文化遗产保护与利用的观察与认知[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(5): 550-558.
- [16] 沙畹. 西突厥史料[M]. 北京: 中华书局, 2004.
- [17] 中国国家博物馆. 海上丝绸之路[EB/OL]. 北京: 中国国家博物馆 [2016-10-30]. <http://www.chnmuseum.cn/Default.aspx?AspxAutoDetectCookieSupport=1&TabId=1266>.
- [18] 刘新华. 论地缘政治学的核心: 地理要素[J]. 世界地理研究, 2009, 18(1): 6-12.
- [19] 郑蕾, 刘志高. 中国对“一带一路”沿线直接投资空间格局[J]. 地理科学进展, 2015, 34(5): 563-570.
- [20] 曹小曙, 李涛, 杨文越, 等. 基于陆路交通的丝绸之路经济带可达性与城市空间联系[J]. 地理科学进展, 2015, 34(6): 657-664.
- [21] 郭华东, 肖函. “一带一路”的空间观测与“数字丝路”构建[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(5): 535-541.
- [22] 中华人民共和国科学技术部国家遥感中心. 2015 年度全球生态环境遥感监测[R/OL]. (2002-08-12) [2016-06-06]. <http://www.chinageoss.org/geoarc/2015/>.
- [23] 李新武, 张丽, 郭华东, 等. “丝绸之路经济带”干旱-半干旱区生态环境全球变化响应的空间认知[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(5): 559-566.
- [24] 李德仁, 李熙. 夜光遥感技术在评估经济社会发展中的应用: 兼论其对“一带一路”建设质量的保障[J]. 宏观质量研究, 2015, 3(4): 1-8.
- [25] Croft T A. Burning waste gas in oil fields [J]. Nature, 1973, 245: 375-376.

[26] Zhang X D, Scheving B, Shoghli B, et al. Quantifying gas flaring CH4 consumption using VIIRS[J]. Remote Sensing, 2015, 7(8):9 529-9 541.

[27] Elvidge C D, Ziskin D, Baugh K E, et al. A fifteen year record of global natural gas flaring derived from satellite data [J]. Energies, 2009, 2 (3):595-622.

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

[29] 吴炳方, 曾红伟, 陈曦. 基于空间认知的“丝绸之路经济带”耕地利用模式[J]. 中国科学院院刊, 2016,31(5): 542-549.

[30] 刘雪萍, 孙思佳. 国产遥感卫星在“一带一路”建设中生态环境保护的应用[J]. 卫星应用, 2015(8):52-54.

[31] Bennie J, Thomas W D, James P D, et al. Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights [J]. Scientific Reports, 2014, 4:3 789.

[32] Aubrecht C, Elvidge C D, Longcore T, et al. A global inventory of coral reef stressors based on satellite observed nighttime lights [J]. Geocarto International, 2008, 23 (6): 467-479.

[33] Liu Z F, He C Y, Zhang Q F, et al. Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008[J]. Landscape and Urban Planning, 2012,106(1):62-72.

[34] 曹子阳, 吴志峰, 匡耀求, 等. DMSP/OLS 夜间灯光影像中国区域的校正及应用[J]. 地球信息科学学报, 2015,17 (9):1 092-1 102.