

基于DMSP/OLS夜间灯光数据的广西沿海地区GDP预测分析

贾艳红 覃孔韬

[摘要] 基于DMSP/OLS夜间灯光数据，构建GDP预测模型对广西沿海地区——北海、防城港、钦州3市GDP值进行估算并分析其GDP空间分布特征。结果表明：首先，夜间灯光数据与GDP值具有线状的相关性，其各市的个体预测模型比3市总体预测模型的预测值更加精准。其次，北防钦3市中，钦州市GDP值最高，北海市排在第二，防城港市相对较低。最后，北防钦3市GDP空间分布主要集中在各市的城市中心区域，主要是服务业、商贸业促进各市GDP发展，而3市的县域经济发展较落后。基于夜间灯光数据构建GDP预测模型对分析广西沿海地区未来GDP值增长、GDP值空间分布以及其城市化发展有着重要的借鉴意义。

[关键词] 夜光遥感；灯光指数；GDP

1 引言

美国军事气象卫星DMSP（Defense Meteorological Satellite Program）能够探测到城市灯光、居民点以及车流发出的灯光，从而获取人类夜间活动状况。DMSP卫星作为较前卫的数据信息获取来源，受到了越来越多的国内外学者的青睐。DMSP/OLS夜间灯光数据主要运用在获取城市建成区^[1-3]、城市化^[4-5]、城市扩张^[6-7]以及社会经济活动^[8-9]等方面。目前利用夜间灯光数据应用于GDP方面研究也非常成熟，Elvidge等^[10]发现夜间灯光与GDP存在较强的相关性；韩向娣等^[11]利用夜间灯光数据对GDP进行建模和空间化分析；王琪等^[12]利用夜间灯光数据对中国GDP总量进行了分析；杨妮等^[13]利用夜间灯光数据对广西省域GDP进行了统计和分析。基于前人研究结果，夜间灯光数据能更好地将GDP这一社会经济指标空间化，其影像提取结果有助于直观进行GDP可视化分析。

本研究以广西沿海地区——北海、防城港、钦州3个沿海城市为研究区域。随着全国城市发展进程的加快及沿海经济区的快速发展，北海、防城港、钦州（简称为“北防钦”）3个沿海城市逐渐形成城市群，北部湾城市群的发展使北防钦3市逐渐成为广西壮族自治区乃

至我国西南沿海区域的核心经济地区。目前，北防钦3市在我国的经济政策部署下已成为重点开发区域之一。因此，对广西沿海城市的GDP进行估算研究，分析广西沿海城市GDP在时间和空间上的差异，系统认识广西沿海城市的城市化水平，对未来的土地规划、区域规划等区域发展决策和广西沿海城市可持续发展及我国经济发展都有着重要意义。

2 研究区概况

广西沿海城市主要位于广西壮族自治区的最南端，包括北海、防城港、钦州3市，其中北海下辖合浦县、海城区、银海区、铁山港区；防城港下辖东兴市、上思县、防城区、港口区；钦州市下辖钦北区、钦南区、灵山县、浦北县。上述3市面积约为2.22×10⁴km²，港口众多，水陆交通便利，城市化水平及经济发展水平均位于广西14个地级市前列。

2008年国家批准并实施了《广西北部湾经济区发展规划》，北防钦3市的发展也成为广西经济发展的热点对象。此后，该区域城市土地需求不断增加，城市扩张速度不断加快。2003年至2013年，北防钦3市经济总量逐年增长，北海市和防城港市经济发展主要以第二产业和第三产业为主，北海市2013年的第二产业、第三产

业生产总值分别为2003年的7.7倍、2.8倍，防城港市2013年的第二产业、第三产业生产总值分别为2003年的11.3倍、4.7倍，钦州市在2003年至2006年经济发展主要以第一产业为主，2007年之后第二、第三产业地位逐渐提升，2010年之后经济发展主要以第二产业和第三产业为主。

3 数据来源与预处理

DMSP/OLS夜光遥感数据来源于美国国家地球物理数据中心（http://www.noaa.gov/web.html）发布的2003—2013年的全球夜间灯光数据。该数据的空间分辨率为1km左右，数据像元灰度值（DN）在0~63，饱和的灰度值为63，黑暗的或者不稳定的灯光区域的灰度值为0。数据预处理是结合邹进贵等人^[14]的方法对夜间灯光数据进行校正，步骤为提取夜间灯光影像亮值像元，再提取稳定亮值像元影像，对稳定亮值影像DN值进行校正。广西沿海地区各市GDP数据来源于《广西统计年鉴（2001—2014）》。

4 研究方法

4.1 夜间灯光综合指数的构建

陈晋与杨眉^[15]等提出了利用夜间灯光综合指数（CNLI）的方法评价城市化水平，本文将利用夜间灯光综合指数对GDP值进行研究。

CNLI的计算公式为：

$$CNLI_j = P_1 \times I_j + P_2 \times S_j \tag{1}$$

式中*I*为城市的平均灯光强度，*S*为城市灯光像元面积占总城市像元面积的比例，*P*₁、*P*₂代表的是*I*与*S*的权重，通过相关分析得到*P*₁=0.8，*P*₂=0.2。

城市的平均灯光强度*I*的计算公式为：

$$I = \frac{\sum_{i=1}^{63} (DN_i \times N_i)}{N \times 63} \tag{2}$$

式中*DN_i*值是第*i*灰度等级的像元灰度值，*N_i*是第*i*灰度等级的所有像元数，*N_i*是63≤*DN*≤1的所有像元总数。

城市灯光像元面积占总城市像元面积的比例*S*计算公式：

$$S = \frac{N_i}{N} \tag{3}$$

式中*N_i*是63≤*DN*≤1的所有像元个数。*N*为区域内总的像元个数。

4.2 GDP预测模型构建

利用SPSS软件对3市总的CNLI与GDP进行相关分析，利用回归分析模型分析北防钦3市夜间灯光数据与其GDP之间的关系，并建设北防钦3市的GDP预测模型，

计算公式如下：

$$GDP_i = a \times (CNLI_i)^2 + bCNLI_i + c \tag{4}$$

式中每个城市*GDP_i*表示预测值，*GDP_真*为实际*GDP*值，*CNLI_i*代表每个城市的夜间灯光综合指数。

$$\lambda = \frac{GDP_i - GDP_{真}}{GDP_{真}} \tag{5}$$

式中λ为GDP预测值与真实的误差。

5 结果与分析

5.1 北防钦3市GDP-CNLI预测模型

根据公式（1）（2）（3）计算2003年至2012年广西沿海城市的夜间灯光指数（CNLI），得到30个样本值，并将查阅广西统计年鉴得出的北防钦3市GDP与CNLI进行回归分析，结果如图1所示。广西沿海城市GDP与夜间灯光数据呈正相关关系，相关系数为0.6804，R²为0.606，说明夜间灯光数据可以预测广西沿海城市的GDP，但其相关性一般，拟合度较低，北防钦3市GDP总体预测模型如下：

$$GDP_i = 54019 \times (CNLI_i)^{3.5471} \quad (R^2 = 0.606)$$

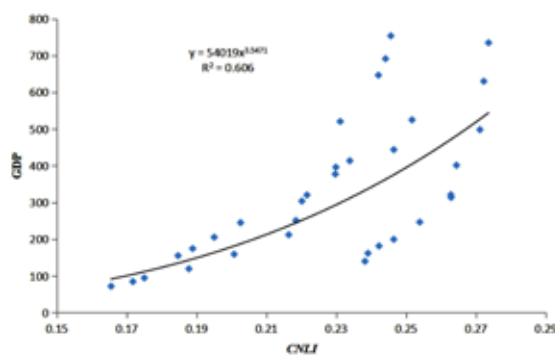


图1 北防钦3市总体GDP样本与CNLI线性拟合图

针对北防钦3市30个样本值总体拟合较低的情况，将分别建立北海、防城港、钦州的GDP预测模型，结果如图2所示。根据模型得出的北防钦3市GDP个体预测模型如下：

北海：

$$GDP_i = 453069 \times (CNLI_i)^2 - 219466 \times CNLI_i + 26739 \quad (R^2 = 0.9516)$$

防城港：

$$GDP_i = 47414 \times (CNLI_i)^2 - 14610 \times CNLI_i + 1192.5 \quad (R^2 = 0.9196)$$

钦州：

$$GDP_i = 181708 \times (CNLI_i)^2 - 69676 \times CNLI_i + 6856.5 \quad (R^2 = 0.8681)$$

对比回归模型的幂函数、一元一次函数、指数函数、多项式结果，其中多项式的拟合结果最好，因此*GDP*与*CNLI*的预测模型以*y=ax²+bx+c*的形式，*x*为夜间

[基金项目] 国家自然科学基金项目（41867028）、广西自然科学基金项目（2018GXNSFAA050060）、桂林市科学研究与技术开发计划项目（20190205）、高校GIS思政实验案例库建设项目（KCSZ201917）、广西师范大学珠江—西江经济带发展研究院科学研究基金重点项目（ZX2020002）共同资助。

[作者简介] 贾艳红，广西师范大学可持续发展创新研究院、广西师范大学环境与资源学院、岩溶生态与环境变化研究广西高校重点实验室，系主任，硕士生导师，博士。

覃孔韬（通讯作者），广西师范大学环境与资源学院。

灯光的综合指数， y 为各市的GDP总量。经过计算发现，北防钦3市与GDP的线性相关系数分别为0.9243、0.9589、0.9317，北防钦各市总GDP与夜间灯光数据具有较大的相关性，其拟合优度也非常高，说明夜间灯光综合指数可以较好地表征北防钦3市的经济发展情况。因此，可利用夜间灯光数据预测北防钦3市的GDP。

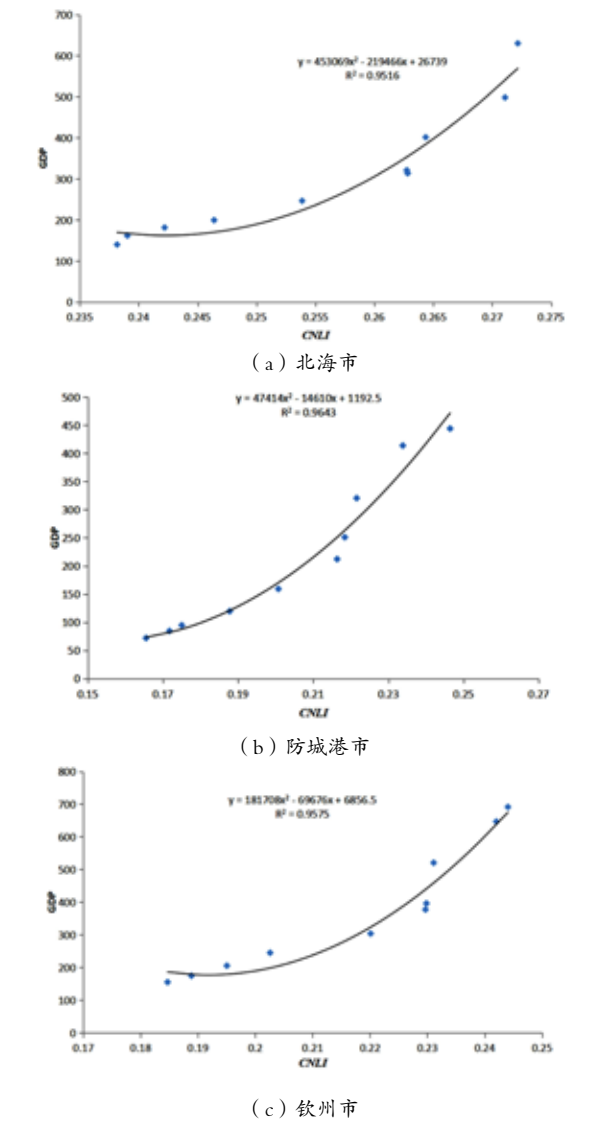


图2 北防钦3市GDP与CNLI线性拟合图

5.2 基于夜间灯光数据的北防钦3市GDP预测模型验证

图3为2013年广西沿海城市——北海、防城港、钦州3个城市GDP预测值与真实值的误差比较。从图3可以看出：个体预测模型比总体预测模型效果好，总体预测模型得出北海市GDP预测值与真实值误差为26%、防城

港误差为23%、钦州误差为51%，北防钦3市的误差都大于10%，说明北防钦3市GDP估计不适合运用其3市综合的预测模型。

相对比总体预测模型，个体预测模型误差更小，北海市GDP预测值与真实值误差为17%，防城港误差为1%，钦州市误差为6.5%，北海市GDP预测的误差低于20%，防城港市和钦州市的误差低于10%。总体上，个体预测模型的误差较小，特别是防城港市，说明个体预测模型对北防钦3市GDP预测有效，且效果较好。

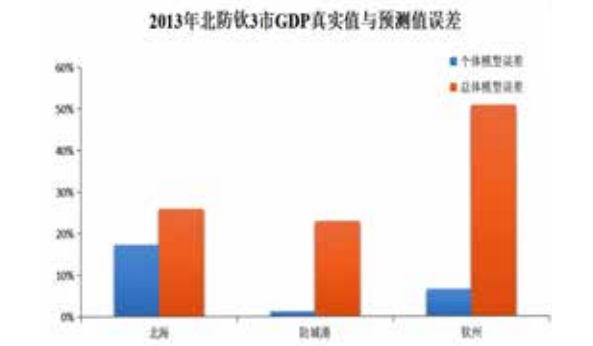


图3 总体预测模型与个体预测模型精度对比图

5.3 2003年至2013年北防钦3市GDP值时间变化特征

由图4可知，2003—2013年钦州市的GDP总量一直居于首位，北海市次之，最后为防城港市。经过计算3个城市的GDP绝对增长率 $[(GDP_{2013}-GDP_{2003})/10]$ ，其中绝对增长率最高也为钦州市，北海市次之，防城港市最低。但总体上北防钦3市的经济发展速度较快。钦州市与北海市第二、第三产业的发展差别不大，由于钦州市面积比北海市大得多，耕地林地面积多，其第一产业生产总值比北海市高得多，因此钦州市总生产总值领先于北海市。防城港市面积是3市中最小，其耕地林地面积也是3市最少，其第一、第二、第三产业的发展不及钦州、北海两市。

北防钦3市的夜间灯光综合指数变化与GDP值变化不同，北海灯光综合指数居于首位，钦州市次之，防城港市最低，且2012年防城港市的夜间灯光指数高于钦州市；而防城港市灯光指数增长率最高，钦州市次之，北海市最低。夜间灯光数据反映人类夜间活动的活跃程度，也反映了社会经济活动程度。钦州市的GDP值比北海市高，而夜间灯光指数却比北海市低，说明钦州市GDP对第一产业依赖性较强，农业、林业、渔业的生产总值占据其总GDP的1/3以上，与人类夜间活动关联不大，而北海主要是服务业、商贸业等现代化产业，能够

促进人类夜间活动。也说明北防钦3市GDP总值与夜间灯光综合指数整体性关联度不高，灯光指数不能整体反应北防钦3市GDP总值变化，且仅有本市夜间灯光指数才能预测本市的GDP总值变化。

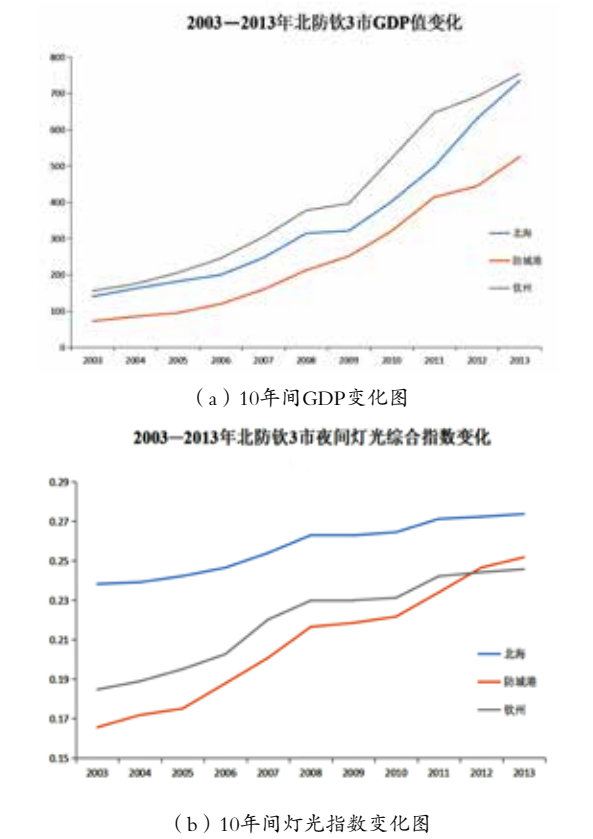


图4 2003—2013年北防钦3市GDP值及灯光指数变化图

5.4 基于2夜间灯光数据的北防钦3市GDP值空间化

由图5可知，2003年北防钦3市北海市的夜间灯光分布最为广泛，基本覆盖了北海市区域的半壁江山，主要是集中于北海市的西侧，以面状形式存在，大致位于北海市市中心以及合浦县县城。而北海市东侧夜间灯光以点状形式存在。防城港市的夜间灯光分布最少，只有零星的几个灯光区域，灯光点状分布，最集中于防城港的防城区内的主城区、港口沿海、上思县城区还有东兴市与越南交界的边境地区。钦州市的面积在北防钦3市中最大，但是夜间灯光分布区域较少，也是只有零星的灯光区域，除了钦州市的市中心灯光区域以小面状形式分布，其他区域灯光点状分布，夜间灯光最集中的是在钦州市的市中心和灵山县的县城。2013年北防钦3市夜间灯光变化区域较小，但钦州市沿海地区以及北防钦3市的市中心的DN值都有较大幅度增长。

从夜间灯光空间分布来看，北海市GDP密度分布格局为西部高于东部，并且以北海市中心海城区和银海区以及合浦县县城为聚集中心向四周离心扩张。北海市海城区和银海区经济相对发达，银海区和海城区现代服务业（旅游业）、商贸业最能带动北海市经济的发展。防城港市GDP密度分布格局为东南部高于西北部，并以东兴市边境和防城港市防城区和港口区为聚集中心向四周扩散，主要扩展方向为西北向。西北区上思县经济发展较弱，东兴市与越南芒街相邻，其旅游业、商贸业带动了东兴市乃至防城港市经济发展，防城港防城区和港口区现代服务业、商贸业也为该市带动经济发展的主要力量。钦州市GDP密度分布格局为西南部高于东北部，主要集中于钦州市市中心并离心向四周扩散，合浦县县城经济发展带动了钦州市西北部经济的发展。此外，北防钦3市沿海港口进出口贸易、物流业等服务业都带动了3市经济的发展，其中北防钦连接南宁的高速公路G75也逐渐将北防钦3市的沿海区域经济连接起来，并逐渐发展融入各市的经济体系，从而带动各市经济发展。

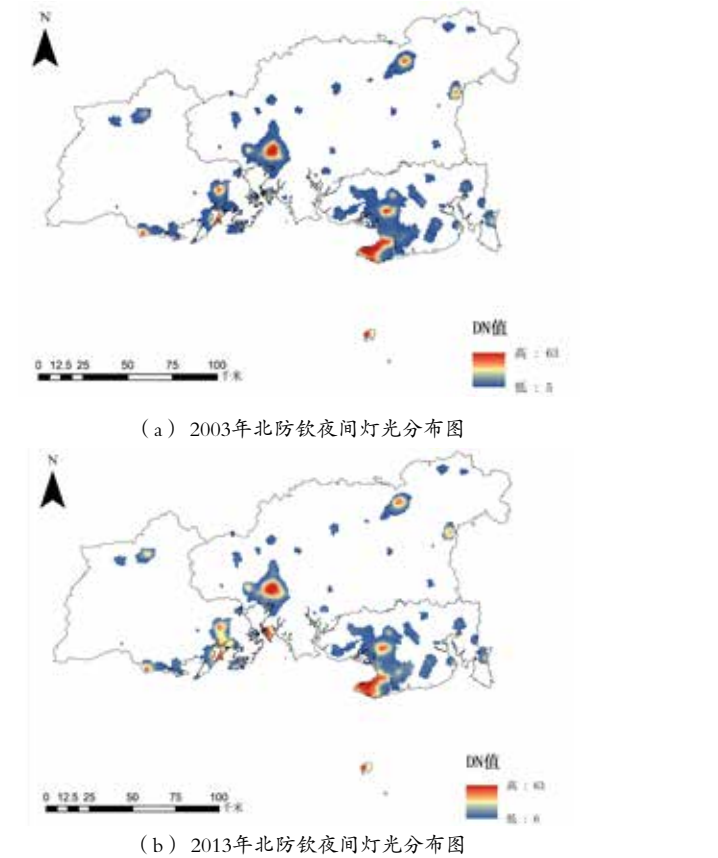


图5 2003年和2013年北防钦3市夜间灯光分布图

6 结论

本文基于夜间灯光遥感数据及广西统计年鉴数据建立了广西沿海地区GDP预测模型,并分析了广西沿海北防钦3市的GDP空间化特征,得出以下结论:

(1) 研究区内北海市、防城港市、钦州市的GDP值与夜间灯光指数呈较强的相关性,各市的相关系数都达到0.9以上,说明夜间灯光数据可以对各市未来GDP值进行预测,且具有一定的科学性和参考性。

(2) 北防钦3市所有GDP值与灯光指数总体上呈正相关,但其总体预测模型的估算值相对误差较大,因此,总体预测模型并不适用北防钦3市。每个城市夜间灯光指数与其GDP值相关系数大,且预测模型相对误差较小,因此个体预测模型可以用来预测各市的GDP值,其中防城港市、钦州市的GDP预测模型精度高,其误差均少于10%,而北海市的GDP预测模型精度相对较低。

(3) 根据各市GDP值及夜间灯光分布图来看,2003年至2013年北防钦3市总体综合实力不断增强,钦州市经济实力最强,北海市经济发展最均匀,各市经济发展均以城市经济中心带动周边区县经济模式展开。虽然北防钦3市县域经济不断升高,但北防钦3市的县域经济实力仍不够强,第二产业和第三产业对经济发展的整体支撑力度仍需加强。

夜间灯光数据显示,钦州市和防城港市的县城经济辐射能力较差,其经济发展区域主要集中在城市中心,县域经济主要以第一产业为主。因此发展广西沿海地区经济,需要合理调节好县域产业结构,县域经济中应加大力度发展第二产业和第三产业,完善县城与周边城镇以及城市中心的交通网络,增强县域经济辐射能力,以促进其城镇化建设。北防钦3市应团结协作,并结合南宁市发展城市群,各市之间形成良性竞争,加强产业协作,创造共赢经济发展环境。

[参考文献]

[1]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.

[2]杨洋,何春阳,赵媛媛,等.利用DM SP/OLS稳定夜间灯光数据提取城镇用地信息的分层阈值法研究[J].中国图象图形学报,2011,16(4):666-673.

[3]Elvidge C D, et al.1997.Mapping city lights with nighttime data from the DMSP Operational Linescan System.Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,63(6):727-734.

[4]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+241.

[5]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.

[6]卓莉,李强,史培军,等.20世纪90年代中国城市用地外延扩展特征分析[J].中山大学学报(自然科学版),2007,46(3):98-102.

[7]卓莉,李强,史培军,等.基于夜间灯光数据的中国城市用地扩展类型[J].地理学报,2006,61(2):169-178.

[8]潘竞虎,李俊峰.基于夜间灯光影像的中国电力消耗量估算及时空动态[J].地理研究,2016,35(4):627-638.

[9]袁涛.DMSP/OLS数据支持的贫困地区测度方法研究[D].北京:中国地质大学,2013.

[10]Elvidge C D,Bangh K E,Kroehl H W, 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):1371-1379.

[11]韩向娣,周艺,王世新,等.夜间灯光遥感数据的GDP空间化处理方法[J].地球信息科学学报,2012,14(1):128-136.

[12]王琪,袁涛,郑新奇.基于夜间灯光数据的中国省域GDP总量分析[J].城市发展研究,2013,20(7):44-48.

[13]杨妮,吴良林,邓树林,等.基于DMSP/OLS夜间灯光数据的省域GDP统计数据空间化方法——以广西壮族自治区为例[J].地理与地理信息科学,2014,30(4):108-111.

[14]邹进贵,陈艳华,田径,等.基于ArcGIS的DMSP/OLS夜间灯光影像校正模型的构建[J].测绘地理信息,2014,39(4):33-37.

[15]杨眉,王世新,周艺,等.基于DMSP/OLS影像的城市化水平遥感估算方法[J].遥感信息,2011(4):100-106.