doi: 10.6046/gtzyyg.2020.02.29
引用格式: 古海玲,陈超,芦莹,等. 基于卫星遥感技术的区域经济发展模型构建[J]. 国土资源遥感,2020,32(2):226-232.
(Gu H L, Chen C, Lu Y, et al. Construction of regional economic development model based on satellite remote sensing technology [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2020, 32(2):226-232.)

# 基于卫星遥感技术的区域经济发展模型构建

古海玲[1], 陈 超[1], 芦 莹[1], 褚衍丽[2]
(1. 浙江海洋大学海洋科学与技术学院,舟山 316022; 2. 浙江海洋大学经济与管理学院,舟山 316022)

**摘要**: 针对区域经济发展调查中传统方法费时费力、数据缺乏客观性的问题,从区域经济发展引起地球表面形态变化的角度出发,借助卫星遥感技术优势,构建模型,以便更加客观、真实地了解区域经济发展形势。首先,基于卫星遥感数据,获取不同时相地球表面形态变化和土地利用信息; 其次,分析各土地利用类型与各区域经济指标之间的相关性,优选敏感因子; 然后,结合社会调查数据,构建区域经济发展模型; 最后,进行精度评价,以验证模型的有效性和适用性。以舟山群岛为例的研究结果表明,建设用地面积是与各经济指标相关性最强的敏感因子,与国内生产总值(gross domestic product, GDP)、第一产业总值(primary industry product, PIP)、第二产业总值(secondary industry product, SIP)和第三产业总值(tertiary industry product, TIP)的相关系数分别为 0.959 1, 0.939 0, 0.954 6 和 0.957 3; 遥感数据与社会调查数据相结合的区域经济发展模型简单清晰,精度较高,平均决定系数 $R^2$ 为 0.979 5。本研究为区域经济发展预测和经济数据纠偏提供了一种新思路,为观测区域经济活动及其影响提供了一种新途径,对于了解区域经济发展,调整和修正统计数据具有实用意义。

**关键词**: 土地利用与覆被变化; 卫星遥感技术; 区域经济发展; 模型构建; 舟山群岛
**中图法分类号**: TP 79　**文献标志码**: A　**文章编号**: 1001-070X(2020)02-0226-07

## 0 引言

区域经济发展是指在一定时空范围内的经济变化、人口增长、产业组织和结构升级等经济社会活动的总和[1-3]。随着社会发展进程的加快,区域经济发展不平衡、城乡差距增大、城市资源承载力饱和等问题日益突出,引起了科学家和社会学家越来越多的关注和思考[4-5]。评估区域经济发展有利于客观认识资源消耗、环境污染、人口膨胀等社会问题,对于了解区域发展进程、评估区域用地水平、制定更合理的区域发展策略具有重要意义。

通常情况下,评估区域经济发展有 2 种方法: 基于社会调查的方法和基于夜间灯光遥感数据的方法[6-8]。基于社会调查的方法主要利用地区国内生产总值(gross domestic product, GDP)等统计数据来分析区域经济发展形势,该方法虽然比较直观,但存在以下 2 方面问题: 一方面,统计数据存在数据缺失、空间信息缺乏等缺点; 另一方面,统计数据往往以"实地调查,层层上报"的方式获取,成本较高,且容易受人为主观因素影响,存在很大的不确定性[9-10]。基于夜间灯光遥感数据的方法是在建立灯光辐射值与 GDP 等经济指标之间相关性的基础上进行的,从时间和空间上弥补了常规统计数据的不足,但夜间灯光遥感数据空间分辨率较低,并且仅仅依靠灯光辐射值也使得分析结果较为单一[3]。因此,如何从更精细尺度上获取能够反映区域经济发展的真实信息,客观地认识和了解区域经济发展情况,已成为研究者广泛关注的问题。

作为社会物质资料的生产和再生产过程,和区域发展有关的各类经济活动会造成地表形态变化,改变土地景观格局[11-13]。遥感技术具有观测范围广、时序长、获取成本低的优势,能够客观反映土地利用情况和人类对地表的改造程度,为从宏观尺度上了解区域土地利用与覆被变化情况,评估区域经济发展提供了契机[6, 14-16]。并且光学遥感数据往往具有比夜间灯光遥感数据更高的空间分辨率,能够从更精细尺度上区分不同地物类别[17-18]。因此,

**收稿日期**: 2019-06-06; **修订日期**: 2019-08-28
**基金项目**: 浙江省省属高校科研院所基本科研业务费专项(编号: 2019J00003)和国家自然科学基金项目"基于空间数据挖掘的高分辨率遥感图像水上桥梁目标识别与损毁评估"(编号: 41701447)共同资助。
**第一作者**: 古海玲(1997-),女,本科生,主要从事遥感技术应用研究。Email: guhailing_zj@163.com。
**通信作者**: 陈 超(1982-),男,博士,副教授,主要从事遥感科学理论和技术应用研究。Emial: chenchao@zjou.edu.cn。

针对传统区域经济发展评估中存在的问题,本文拟利用 Landsat 卫星遥感数据,建立土地利用类型与各经济指标之间的联系,构建遥感数据和社会调查数据相结合的区域经济发展模型。本研究可为了解和掌握区域经济发展、评估社会调查数据的准确性等提供技术支持。

# 1　研究区概况与数据源

## 1.1　研究区概况

舟山市位于浙江省东北部,拥有大小岛屿 1 390 个,岛上地形以丘陵为主,其中高丘占 9%,低丘占 61%,平原占 30%,形成不同土壤类型及农作物格局[19-20]。舟山市作为第一个以群岛建设的地级市,其经济发展形势受到各研究者广泛关注。

## 1.2　数据源

本文收集了 2 方面的数据:Landsat 卫星遥感数据和经济指标与人口数据。对于 Landsat 卫星遥感数据,考虑云层遮挡、覆盖范围等因素,从 1984—2017 年期间,共获取 27 个年份的数据用于最大似然法监督分类,时间跨度为 34 a,成像时间以 3—10 月份为主。对于经济指标与人口数据,由舟山市统计局公布,包括 GDP、第一产业总值(primary industry product,PIP)、第二产业总值(secondary industry product,SIP)、第三产业总值(tertiary industry product,TIP)、户籍人均 GDP 和常住人口等。由于研究年份的常住人口出现缺失现象,因此,基于已有常住人口,利用四次多项式插值,得到缺失年份的常住人口。研究区数据获取情况具体如表 1 所示。

**表 1　研究区数据获取情况**

**Tab. 1　Acquired data in the study area**

| 卫星遥感数据 | | 经济与人口统计数据 | | |
|---|---|---|---|---|
| 时间 | 传感器 | 时间 | 经济指标 | 人口 |
| 1984 年、1987—1988 年、1990—1993 年、1996—2001 年、2003—2011 年 | Landsat5 TM | 1990 年、2000 年、2005—2011 年、2013—2017 年 | GDP,PIP,SIP,TIP 和人均 GDP 值 | 常住人口 |
| 2013—2017 年 | Landsat8 OLI | 1984 年、1987—1988 年、1991—1993 年、1996—1999 年、2001 年、2003—2004 年 | | 插值之后的常住人口 |

为了获取可靠的模型,并对模型进行验证和精度评价,将获取的研究区数据分为 2 部分,其中一部分用于模型构建,另一部分用于模型验证。用于模型构建的数据的时间点为 18 个,分别为 1984 年、1987 年、1990—1991 年、1993 年、1997—1999 年、2001 年、2003 年、2005—2006 年、2008 年、2010 年、2013—2014 年、2016—2017 年,用于模型验证的数据的时间点为 9 个,分别为 1988 年、1992 年、1996 年、2000 年、2004 年、2007 年、2009 年、2011 年和 2015 年。

# 2　研究方法

本研究基于长时间序列卫星遥感数据,从相关性强弱的角度选择与经济指标关系最为密切的敏感因子,结合社会调查数据,构建区域经济发展模型,分析区域经济发展形势。本研究技术路线如图 1 所示。首先,对收集到的长时间序列卫星遥感数据进行辐射定标、大气校正、图像拼接与裁剪等预处理操作;其次,考虑目标地物在光谱、形状和纹理等方面的区分性,选取训练样本,采用最大似然法将研究区分为建设用地(包括城乡建筑、港口码头、道路等)、植被(包括林地、农田)、水体(包括河流湖泊、养殖水田)、裸地(包括滩涂、沙地)等 4 类,并统计各土地利用类型的面积;再次,采用相关性分析,明确区域 *GDP*,*PIP*,*SIP*,*TIP* 和户籍人均 *GDP* 与各类地物面积之间的联系,选取与各经济指标相关性最强的地物类别作为敏感因子;然后,基于遥感分类数据,综合考虑常住人口对区域经济发展的影响,利用回归统计分析构建区域经济发展模型;最后,利用百分

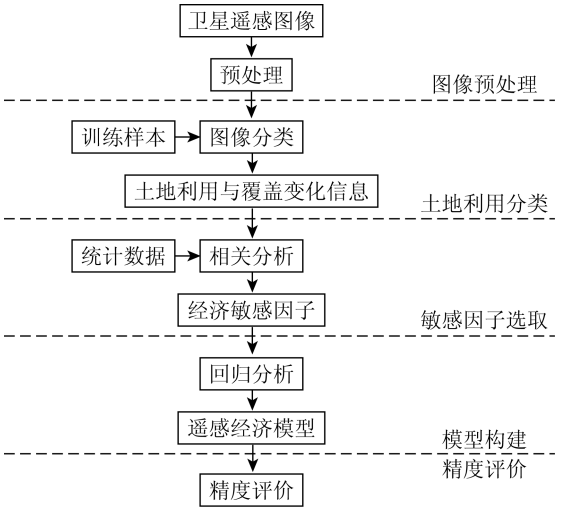



**图 1　本文技术路线**

**Fig. 1　Flow chart of this study**

偏差、均方根误差和相关系数等指标对模型进行精度评价。

## 3　结果与分析

### 3.1　分类结果

选择训练样本,利用监督分类中的最大似然分类器,将研究区分为建设用地、植被、水体和裸地等4 类,并统计各类别面积。具体结果如表 2 和图 2 所示(考虑到篇幅,结果图仅列出部分年份)。

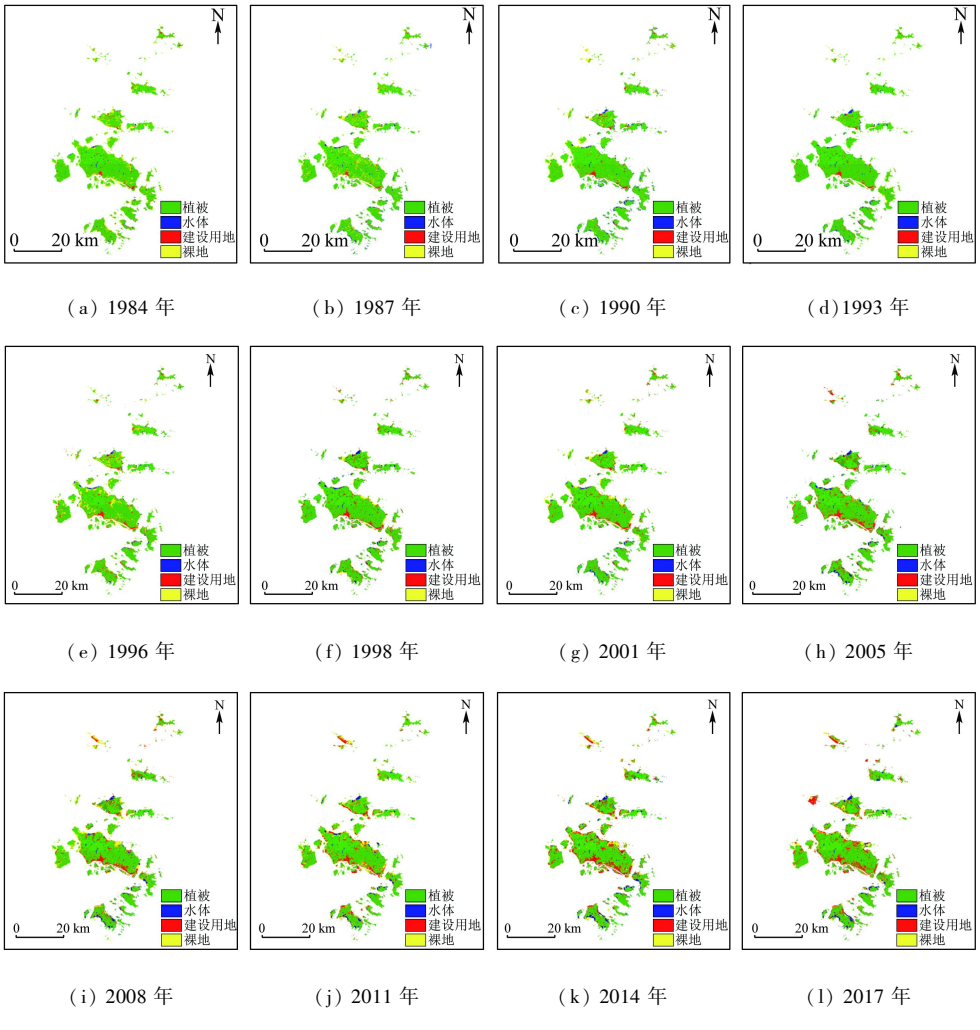
从图 2 可以看出,1984—2017 年间,舟山市植被覆盖面积小幅减小,但整体保持在较高水平,水体面积分阶段变化明显,陆域面积不断增加。城市建设用地面积从 50.84 $km^2$ 增加到 220.05 $km^2$,约扩张了4.33 倍。植被方面,1984—2009年间,平均面

**表 2　各土地利用类型面积**

**Tab. 2　Area of land use types**　　($km^2$)

| 土地利用类型 | 1984 年 | 1987 年 | 1988 年 | 1990 年 | 1991 年 | 1992 年 | 1993 年 | 1996 年 | 1997 年 | 1998 年 | 1999 年 | 2000 年 | 2001 年 | 2003 年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 建设用地 | 50.84 | 39.17 | 62.55 | 56.23 | 56.03 | 53.86 | 47.76 | 86.13 | 78.55 | 107.19 | 73.07 | 107.83 | 111.08 | 126.06 |
| 植被 | 972.51 | 950.54 | 994.48 | 990.62 | 967.19 | 974.73 | 1 043.44 | 956.23 | 955.41 | 1 020.90 | 1 039.48 | 998.41 | 1 025.00 | 988.57 |
| 水体 | 28.44 | 60.18 | 50.45 | 71.42 | 49.45 | 81.43 | 45.96 | 42.40 | 34.89 | 57.74 | 40.67 | 48.43 | 51.56 | 47.31 |
| 裸地 | 255.55 | 247.57 | 188.59 | 157.36 | 221.10 | 170.19 | 131.12 | 211.54 | 188.53 | 114.52 | 83.03 | 126.23 | 130.59 | 118.22 |
| 陆域总面积 | 1 307.34 | 1 297.45 | 1 296.07 | 1 275.63 | 1 293.76 | 1 280.21 | 1 268.28 | 1 296.31 | 1 257.38 | 1 300.36 | 1 236.24 | 1 280.90 | 1 318.24 | 1 280.16 |

| 土地利用类型 | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 | 2007 年 | 2008 年 | 2009 年 | 2010 年 | 2011 年 | 2013 年 | 2014 年 | 2015 年 | 2016 年 | 2017 年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 建设用地 | 127.52 | 143.04 | 141.21 | 154.85 | 142.43 | 147.58 | 154.40 | 150.21 | 201.14 | 213.16 | 205.53 | 180.30 | 220.05 |
| 植被 | 996.38 | 976.87 | 976.07 | 998.16 | 900.54 | 1007.73 | 908.48 | 912.12 | 939.04 | 903.26 | 925.66 | 949.38 | 967.42 |
| 水体 | 62.22 | 63.49 | 69.56 | 46.60 | 60.80 | 54.79 | 60.36 | 60.03 | 55.01 | 74.17 | 73.07 | 89.88 | 68.96 |
| 裸地 | 80.23 | 79.97 | 135.45 | 149.37 | 199.72 | 154.99 | 192.88 | 226.04 | 167.12 | 117.34 | 140.49 | 175.90 | 115.67 |
| 陆域总面积 | 1 266.35 | 1 263.37 | 1 322.28 | 1 348.97 | 1 303.49 | 1 365.08 | 1 316.11 | 1 348.41 | 1 362.31 | 1 307.93 | 1 344.76 | 1 395.46 | 1 372.09 |




(a) 1984 年　(b) 1987 年　(c) 1990 年　(d)1993 年

(e) 1996 年　(f) 1998 年　(g) 2001 年　(h) 2005 年

(i) 2008 年　(j) 2011 年　(k) 2014 年　(l) 2017 年

**图 2　分类结果**

**Fig. 2　Results of classification**

积为 986.66 $km^2$,占平均陆域总面积的 76.31%;2010—2017 年间,平均面积减小为 929.34 $km^2$,占平均陆域总面积的 68.86%。水体方面,1984—1992 年间,由于沿海养殖区域增加,水体面积整体呈现增长趋势,平均面积为 56.90 $km^2$;1993—2003 年间,由于城镇化与沿岸港口建设,平均面积减小为 46.12 $km^2$;2004—2017 年间,由于水产养殖业的成熟与生态环境改善,平均面积增加至 64.53 $km^2$。此外,裸地面积从 255.55 $km^2$ 减少为 115.67 $km^2$。

### 3.2　敏感因子选取

为了去除数据之间的冗余,首先对各经济指标和土地利用类型数据进行对数、指数变换,以便更为准确地发现数据之间的联系。在对数运算方面,由于 ln 与 lg 所得的相关系数是一致的,因此,本文只讨论 lg 形式;在对数据进行以 e 为底的指数运算时,为了避免结果值过大,对原始数据进行归一化处理,具体公式为

$$x' = 1 + \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \tag{1}$$

式中:$x'$为归一化之后数据;$x$ 为原始数据;$x_{\max}$和 $x_{\min}$分别为原始数据最大值和最小值。

然后,在原始数据及变换数据的基础上,开展相关性分析,选择相关系数最大的地物类别作为经济敏感因子。相关性分析结果如表 3 所示。表 3 中 Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ,Ⅴ分别为植被面积、水体面积、建设用地面积、裸地面积和陆域总面积;Ⅰ′,Ⅱ′,Ⅲ′,Ⅳ′,Ⅴ′分别为归一化处理后植被面积、水体面积、建设用地面积、裸地面积和陆域总面积。

**表 3　土地利用类型面积与各经济指标间的相关系数表**

**Tab. 3　Correlation matrix between area of land use types and economic indicators**

| 指标 | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ | Ⅴ | lg(Ⅰ) | lg(Ⅱ) | lg(Ⅲ) | lg(Ⅳ) | lg(Ⅴ) | e(Ⅰ′) | e(Ⅱ′) | e(Ⅲ′) | e(Ⅳ′) | e(Ⅴ′) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *GDP* | −0.545 5 | 0.645 8 | 0.919 4 | −0.172 8 | 0.782 2 | −0.546 3 | 0.607 2 | 0.842 2 | −0.113 2 | 0.777 4 | −0.529 9 | 0.662 4 | 0.943 9 | −0.222 1 | 0.808 0 |
| *PIP* | −0.443 3 | 0.621 4 | 0.917 2 | −0.263 1 | 0.762 5 | −0.443 5 | 0.581 9 | 0.850 0 | −0.202 5 | 0.756 0 | −0.432 6 | 0.643 4 | 0.939 8 | −0.310 6 | 0.801 7 |
| *SIP* | −0.614 0 | 0.647 8 | 0.926 8 | −0.144 5 | 0.757 6 | −0.616 1 | 0.617 0 | 0.860 8 | −0.084 3 | 0.754 0 | −0.589 3 | 0.655 4 | 0.940 9 | −0.197 3 | 0.773 6 |
| *TIP* | −0.526 1 | 0.647 4 | 0.897 8 | −0.155 1 | 0.7943 | −0.526 1 | 0.603 1 | 0.809 0 | −0.098 0 | 0.789 2 | −0.515 6 | 0.668 5 | 0.931 0 | −0.201 6 | 0.822 9 |
| 人均 GDP | −0.547 0 | 0.646 1 | 0.919 5 | −0.171 7 | 0.782 3 | −0.547 8 | 0.607 6 | 0.842 4 | −0.112 1 | 0.777 5 | −0.531 4 | 0.662 4 | 0.943 9 | −0.221 0 | 0.807 9 |
| 常住人口 | −0.463 9 | 0.616 0 | 0.962 8 | −0.4057 | 0.622 8 | −0.468 0 | 0.615 4 | 0.956 2 | −0.329 6 | 0.618 3 | −0.430 3 | 0.605 0 | 0.942 9 | −0.469 6 | 0.647 5 |
| $e^{(GDP)}$ | −0.453 5 | 0.7055 | 0.881 5 | −0.267 4 | 0.725 1 | −0.4545 | 0.691 4 | 0.807 4 | −0.196 2 | 0.719 0 | −0.437 8 | 0.704 7 | 0.907 0 | −0.326 3 | 0.762 2 |
| $e^{(PIP')}$ | −0.404 4 | 0.616 2 | 0.870 1 | −0.224 9 | 0.781 9 | −0.403 2 | 0.568 2 | 0.787 0 | −0.168 4 | 0.774 9 | −0.403 0 | 0.645 4 | 0.905 1 | −0.267 5 | 0.824 9 |
| $e^{(SIP')}$ | −0.574 6 | 0.643 2 | 0.901 9 | −0.129 9 | 0.779 7 | −0.575 8 | 0.605 4 | 0.822 2 | −0.071 2 | 0.775 4 | −0.555 9 | 0.657 6 | 0.927 5 | −0.179 8 | 0.801 5 |
| $e^{(TIP')}$ | −0.463 0 | 0.630 5 | 0.856 7 | −0.151 7 | 0.799 3 | −0.461 8 | 0.580 6 | 0.758 7 | −0.097 5 | 0.793 4 | −0.460 9 | 0.657 7 | 0.899 2 | −0.193 6 | 0.834 1 |
| $e^{(人均GDP')}$ | −0.492 7 | 0.635 0 | 0.880 8 | −0.159 1 | 0.7952 | −0.492 3 | 0.589 6 | 0.791 1 | −0.102 4 | 0.789 7 | −0.485 3 | 0.658 1 | 0.916 4 | −0.204 1 | 0.826 9 |
| $e^{(常住人口')}$ | −0.502 7 | 0.630 9 | 0.967 1 | −0.3289 | 0.691 9 | −0.505 7 | 0.617 0 | 0.934 9 | −0.257 1 | 0.687 3 | −0.474 6 | 0.629 4 | 0.962 7 | −0.388 6 | 0.716 2 |
| lg(*GDP*) | −0.459 3 | 0.5901 | 0.947 9 | −0.431 7 | 0.563 1 | −0.4640 | 0.599 9 | 0.959 1 | −0.361 5 | 0.558 8 | −0.422 0 | 0.571 2 | 0.914 8 | −0.491 8 | 0.585 9 |
| lg(*PIP*) | −0.372 5 | 0.565 5 | 0.925 4 | −0.486 1 | 0.543 5 | −0.376 9 | 0.575 0 | 0.939 0 | −0.413 2 | 0.537 6 | −0.337 5 | 0.551 8 | 0.896 9 | −0.547 2 | 0.579 5 |
| lg(*SIP*) | −0.492 3 | 0.594 1 | 0.942 4 | −0.405 9 | 0.554 6 | −0.497 0 | 0.606 3 | 0.954 6 | −0.337 7 | 0.551 1 | −0.454 2 | 0.571 5 | 0.906 4 | −0.465 5 | 0.572 0 |
| lg(*TIP*) | −0.5024 | 0.620 1 | 0.959 9 | −0.387 5 | 0.602 7 | −0.506 3 | 0.622 9 | 0.957 3 | −0.321 0 | 0.598 7 | −0.468 8 | 0.604 1 | 0.933 8 | −0.445 3 | 0.623 3 |
| lg(人均 *GDP*) | −0.464 2 | 0.591 0 | 0.949 4 | −0.426 8 | 0.566 8 | −0.468 7 | 0.600 1 | 0.959 7 | −0.357 2 | 0.562 6 | −0.427 2 | 0.572 4 | 0.916 7 | −0.486 5 | 0.589 2 |
| lg(常住人口) | −0.450 7 | 0.610 9 | 0.958 3 | −0.425 4 | 0.603 2 | −0.455 0 | 0.613 7 | 0.958 1 | −0.348 2 | 0.598 7 | −0.415 9 | 0.597 5 | 0.934 8 | −0.490 3 | 0.628 2 |

从表 3 可以看出,建设用地面积对数变换值对各经济指标最为敏感,与 *GDP*,*PIP*,*SIP* 和 *TIP* 的相关系数分别为 0.959 1,0.939 0,0.954 6 和 0.957 3。此外,常住人口和人均 *GDP* 与建设用地面积也具有较强的相关性。因此,本文选择建设用地面积和常住人口作为敏感因子,构建遥感数据和社会调查数据相结合的区域经济发展模型。

### 3.3　区域经济发展模型构建

综合考虑单因子(建设用地面积)和双因子(常住人口数量和建设用地面积)构建区域经济发展模型,结果如表 4 所示。其中,因变量 $y$ 代表各经济指标的对数变换值(lg),自变量 $x$ 代表建设用地面积和常住人口数量的对数变换值(lg)。从表 4 可以看出,考虑常住人口影响的双因子模型要明显优于单因子模型,各经

**表 4　模型构建结果**

**Tab. 4　Constructed models**

| 单因子 | | | | | 双因子 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $x$ | $y$ | 线性模型 | $R^2$ | 平均 $R^2$ | $x$ | $y$ | 线性模型 | $R^2$ | 平均 $R^2$ |
| lg(建设用地面积) | lg(GDP) | $y = 2.595\,0x - 3.034\,1$ | 0.919 8 | 0.907 3 | lg(常住人口) $x_1$ | lg(GDP) | $y = 18.236\,29x_1 + 0.247\,334x_2 - 35.130\,7$ | 0.988 4 | 0.979 5 |
| | lg(PIP) | $y = 1.735\,2x - 2.006\,4$ | 0.881 7 | | | lg(PIP) | $y = 13.946\,08x_1 - 0.060\,12x_2 - 26.552\,1$ | 0.967 7 | |
| | lg(SIP) | $y = 2.683\,6x - 3.673\,8$ | 0.911 2 | | lg(建设用地面积) $x_2$ | lg(SIP) | $y = 18.150\,05x_1 + 0.347\,049x_2 - 35.618\,7$ | 0.974 1 | |
| | lg(TIP) | $y = 2.867\,3x - 3.979\,4$ | 0.916 5 | | | lg(TIP) | $y = 20.561\,14x_1 + 0.220\,352x_2 - 40.168$ | 0.987 7 | |

济指标拟合函数的平均决定系数 $R^2$ 从 0.907 3 提高到 0.979 5。

### 3.4 精度评价

为了验证模型的有效性和适用性,计算实测数据与模型计算数据之间的百分偏差、均方根误差、相关系数。计算公式分别为:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_I - y_i)/y_i}{n}, \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - y_i)^2}{n}}, \quad (3)$$

$$R_{yY} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (4)$$

式中:$D$,$RMSE$ 和 $R_{yY}$ 分别为百分偏差、均方根误差和相关系数;$Y$ 为根据模型获取的经济预测值;$y$ 为经济指标的实际值;$i$ 为数据获取的年份;$n$ 为参与运算的数据量总数;$\bar{y}$ 为实际经济指标平均值;$\bar{Y}$ 为模型预测的经济指标平均值。模型精度评价结果如表 5 所示。

**表 5　模型精度评价结果**

**Tab. 5　Accuracy evaluation of constructed models**

| 经济指标 | 单因子 | | | 双因子 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $D$/% | $RMSE$ | $R_{yY}$ | $D$/% | $RMSE$ | $R_{yY}$ |
| *GDP* | 8.44 | 107.66 | 0.946 5 | -8.50 | 78.11 | 0.967 0 |
| *PIP* | 6.79 | 9.44 | 0.952 5 | -3.06 | 9.87 | 0.989 0 |
| *SIP* | 6.50 | 123.75 | 0.901 3 | -11.59 | 46.67 | 0.908 3 |
| *TIP* | 16.56 | 64.93 | 0.945 3 | -6.00 | 29.33 | 0.973 5 |
| 平均值 | 9.57 | 76.44 | 0.936 4 | -7.29 | 40.99 | 0.959 4 |

从表 5 精度评价结果可以看出,双因子模型的平均百分偏差要小于单因子模型,并且单因子模型预测值要大于实际值,而双因子模型预测值则小于实际值;双因子模型平均 $RMSE$ 为 40.99,优于单因子;各模型预测值与真实经济指标的相关系数 $R_{yY}$ 保持在 0.90 以上,说明了敏感因子选取的正确性,并且考虑常住人口数量之后,模型预测更符合真实情况,各经济指标的平均相关系数增加至 0.959 4。

## 4　结论与展望

本研究主要是为区域经济发展监测与评估提供一种准确、客观、节资、省时的新方法。从区域经济发展对地球表面形态的改造出发,结合土地利用/覆盖变化信息与统计数据,构建了遥感数据和社会调查数据相结合的区域经济发展模型。得到如下结论:

1)在各土地利用类型中,区域经济发展对建设用地面积的敏感性最强,建设用地面积与 *GDP*, *PIP*, *SIP* 和 *TIP* 之间的相关系数分别为 0.959 1, 0.939 0,0.954 6 和 0.957 3。

2)综合考虑建设用地面积和常住人口数量的双因子模型要优于仅仅考虑建设用地面积的单因子模型,模型平均决定系数 $R^2$ 由 0.907 3 提高至 0.979 5。

3)与实测数据相比,结合建设用地面积与常住人口构建的区域经济发展模型的百分偏差和均方根误差更小,相关性更强。*GDP*, *PIP*, *SIP* 和 *TIP* 的模型预测结果与真实结果的百分偏差分别为 -8.50%, -3.06%, -11.59% 和 -6.00%,均方根误差分别为 78.11,9.87,46.67 和 29.33,相关系数分别为 0.967 0,0.989 0,0.908 3 和 0.973 5。

本研究利用中等空间分辨率卫星遥感数据进行了土地利用分类,未来将尝试利用高空间分辨率遥感数据、兴趣点数据等获取更为精细的地物类别,深入挖掘各地物类别与各经济指标之间的关系。同时,进一步收集统计数据,减小建模过程中统计数据缺失带来的影响。

### 参考文献(References):


[1] Grekousis G, Mountrakis G, Kavouras M. Linking MODIS - derived forest and cropland land cover 2011 estimations to socioeconomic and environmental indicators for the European Union's 28 countries[J]. GIS Science & Remote Sensing, 2016, 53(1): 122 - 146.

[2] Vilar L, Camia A, San M A J, et al. Modeling temporal changes in human - caused wildfires in Mediterranean Europe based on Land Use - Land Cover interfaces[J]. Forest Ecology and Management, 2016, 378: 68 - 78.

[3] 潘思东. 基于夜间灯光遥感和小区 POI 的住宅发展与经济增长的空间耦合研究[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(5): 646 - 652.
Pan S D. Spatial coupling between housing development and economic growth based on night light remote sensing and residential POI[J]. Journal of Geo - information Science, 2017, 19(5): 646 - 652.

[4] 赵 展, 夏 旺, 闫 利. 基于多源数据的土地利用变化检测[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(4): 148 - 155. doi: 10.6046/gtzyyg.2018.04.22.
Zhao Z, Xia W, Yan L. Land use change detection based on multi - source data[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2018, 30(4): 148 - 155. doi: 10.6046/gtzyyg.2018.04.22.

[5] Handavu F, Chirwa P W C, Syampungani S, Socio - economic factors influencing land - use and land - cover changes in the miombo woodlands of the Copperbelt Province in Zambia[J]. Forest Policy

and Economics,2019,100:75 – 94.

[6] Chen Q,Hou X,Zhang X,et al. Improved GDP spatialization approach by combining land – use data and night – time light data:A case study in China's continental coastal area[J]. International Journal of Remote Sensing,2016,37(19):4610 – 4622.

[7] 韩向娣,周 艺,王世新,等. 基于夜间灯光和土地利用数据的 GDP 空间化[J]. 遥感技术与应用,2012,27(3):396 – 405.
Hang X D,Zhou Y,Wang S X,et al. GDP spatialization in China based on DMSP/OLS data and land use data[J]. Remote Sensing Technology and Application,2012,27(3):396 – 405.

[8] 李 翔,朱 江,尹向东. 基于夜间灯光数据的中国经济发展时空格局特征[J]. 地球信息科学学报,2019,21(3):417 – 426.
Li X,Zhu J,Yin X D. Spatio – temporal pattern of Chinese economy development based on nightlight data[J]. Journal of Geo – information Science,2019,21(3):417 – 426.

[9] Li G,Li F,Urban sprawl in China:Differences and socioeconomic drivers[J]. Science of the Total Environment,2019,673:367 – 377.

[10] Shapla T,Park J,Hongo C,et al. Agricultural land cover change in Gazipur,Bangladesh, in relation to local economy studied using Landsat images[J]. Advances in Remote Sensing,2015,4(3):214.

[11] Yu W,Zang S,Wu C,et al. Analyzing and modeling land use land cover change(LUCC) in the Daqing City, China[J]. Applied Geography,2011,31(2):600 – 608

[12] 李少英,刘小平,黎 夏,等. 土地利用变化模拟模型及应用研究进展[J]. 遥感学报,2017,21(3):329 – 340.
Li S Y,Liu X P,Li X,et al. Simulation model of land use dynamics and application: Progress and prospects[J]. Journal of Remote Sensing,2017,21(3):329 – 340.

[13] 张登荣,许思莹,谢 斌,等. 近 40 年椒江 – 台州湾滩涂围垦土地利用变化的遥感调查[J]. 国土资源遥感,2016,28(1):101 – 106. doi:10.6046/gtzyyg.2016.01.15.
Zhang D R,Xu S Y,Xie B,et al. Land use change of reclaimed mud flats in Jiaojiang – Taizhou Estuary in the past 40 years based on remote sensing technology[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2016,28(1):101 – 106. doi:10.6046/gtzyyg.2016.01.15.

[14] Yin J,Yin Z,Zhong H,et al. Monitoring urban expansion and land use/land cover changes of Shanghai metropolitan area during the transitional economy(1979—2009) in China[J]. Environmental Monitoring and Assessment,2011,177(1 – 4):609 – 621.

[15] 陈 超,傅姣琪,随欣欣,等. 面向灾后水体遥感信息提取的知识决策树构建及应用[J]. 遥感学报,2018,22(5):792 – 801.
Chen C,Fu J Q,Sui X X,et al. Construction and application of knowledge decision tree after a disaster for water body information extraction from remote sensing images[J]. Journal of Remote Sensing,2018,22(5):792 – 801.

[16] 陈 玲,贾 佳,王海庆. 高分遥感在自然资源调查中的应用综述[J]. 国土资源遥感,2019,31(1):1 – 7. doi:10.6046/gtzyyg.2009.01.01.
Chen L,Jia J,Wang H Q. An overview of applying high resolution remote sensing to land and resources survey[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2019,31(1):1 – 7. doi:10.6046/gtzyyg.2009.01.01.

[17] 施利锋,张增祥,刘 芳,等. 1973 年—2013 年经济特区城市空间扩展遥感监测[J]. 遥感学报,2015,19(6):1030 – 1039.
Shi L F,Zhang Z X,Liu F,et al. Spatial expansion remote sensing monitoring of special economic zones from 1973 to 2013[J]. Journal of Remote Sensing,2015,19(6):1030 – 1039.

[18] 曾 刚,尚勇敏,司月芳. 中国区域经济发展模式的趋同演化 – 以中国 16 中典型模式为例[J]. 地理研究,2015,34(11):2005 – 2020.
Zeng G,Shang Y M,Si Y F. The convergent evolution of China's regional economic development models[J]. Geographical Research,2015,34(11):2005 – 2020.

[19] 鲁 旭,陈 超. 基于遥感数据的舟山市土地利用时空格局研究[J]. 浙江科技学院学报,2018,30(5):404 – 411.
Lu X,Chen C. Research on spatial – temporal pattern of land use in Zhoushan city by using remote sensing images[J]. Journal of Zhejiang University of Science and Technology,2018,30(5):404 – 411.

[20] 张晓萍,吕 颖,张华国,等. 1990—2011 年舟山群岛不透水面动态遥感分析[J]. 国土资源遥感,2018,30(2):178 – 185. doi:10.6046/gtzyyg.2018.02.01.
Zhang X P,Lyu Y,Zhang H G,et al. Remote sensing analysis of impervious surface change in Zhoushan Islands during 1990—2011[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2018,30(2):178 – 185. doi:10.6046/gtzyyg.2018.02.01.

# Construction of regional economic development model based on satellite remote sensing technology

GU Hailing[1], CHEN Chao[1], LU Ying[1], CHU Yanli[2]

(1. *College of Marine Science and Technology*, *Zhejiang Ocean University*, *Zhoushan* 316022, *China*;
2. *School of Economics and Management*, *Zhejiang Ocean University*, *Zhoushan* 316022, *China*)

**Abstract**: In order to break through the time – consuming and laborious limitations of traditional regional economic development surveys, the authors built some regional economic development models by virtue of the advantages of remote sensing technology. First, based on multi – source and multi – temporal satellite remote sensing data, the authors obtained surface morphological changes and land use information, analyzed the correlation between land use

types and regional economic indicators , optimized sensitive factors , then combined the social survey data to build a regional economic development model and finally performed an accuracy evaluation to verify the validity and applicability of the model. Zhoushan Islands were selected as the research area to carry out verification experiments. The experimental results show that the construction land area is the most sensitive factor related to various economic indicators , and the correlation coefficients with GDP , PIP, SIP and TIP are respectively 0.959 1 , 0.939 0, 0.954 6 and 0.957 3. The average determination coefficient $R^2$ of the regional economic development model built with the survey data is 0.979 5. The results obtained by the authors provide a new way of thinking for regional economic development prediction and economic data correction and also provide a possibility for humans to observe economic activities and their impact. The model built in this study is simple and clear yet with high precision , and thus is of great significance for understanding regional economic development as well as adjusting and correcting statistical data.

**Keywords**: land use and cover change ; satellite remote sensing technology ; regional economic development ; model construction ; Zhoushan Islands

（责任编辑：李 瑜）

## “中国地调空军”云端之上测珠峰

2020 年5 月1 日至9 日,“航空地质一号”飞机由拉萨贡嘎机场起飞,先后执行了4 个架次珠峰高程空中测量任务。除第一天为试验飞行外,其余皆为正式测量。目前,珠峰航空重力测量任务已完成过半。这是我国首次在珠峰区域开展航空重力和遥感综合调查,将填补相应数据资料的空白,并可将珠峰地区大地水准面精度从米级提高到厘米级。

中国地质调查局自然资源航空物探遥感中心副总工程师陈斌介绍 ,本次珠峰高程空中测量飞行高度为 9 800 m ~ 10 250 m,已接近“航空地质一号”的极限飞行高度(10 500 m)。航空测量使用了多种处于世界先进水平的机载设备,包括两套自主研发的国产航空重力仪、两套进口重力仪、一套 ADS100 航空摄像机和一套激光雷达测量仪。其中,航空重力测量数据能够解算出更高精度的大地水准面(即海拔高程系统的起算面),意味着珠峰“身高”的精度也会得到相应提升; 航空遥感数据能够获得大范围、高精度的珠峰及周边区域三维地形测量结果,如同拍摄一张上亿像素的珠峰全景高清大图。

据悉,执行此次任务的“航空地质一号”飞机是处于国际领先水平的专业测量平台,由地调局航遥中心完成改装设计,集成了航空重力、航空磁力、航空摄影和航空高光谱等各类观测手段,有“中国地调空军”之称。

（来源：i 自然全媒体,2020 年5 月11 日报道）