

Building digital topography model of the intertidal zone between Caofeidian Nanpu town and Tanggu district using multi-period remote sensing data

Zhang Z G¹, Wu F¹, Li T Q¹, Li Q¹, Gao Z H¹ and Jin D J¹

¹China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Land and Resources, 31 Xueyuan Road, Hiadian District, 100083 Beijing, P.R.C

E-mail:zhang_zonggui@qq.com

Abstract. The intertidal zone, a change zone of land and sea interaction, has abundant land reserves, tourism and other resources, which has a location advantage of great engineering construction in China's coastal areas and thus is very important to investigate and monitor the topography of the tidal zone and also keep track of its topographic changes. In this study, the new section of the Bohai sea coastal zone from Nanpu to Tianjin Bohai sea area has been chosen as an example. Based on the terrain feature of the information expressed by the multi-period remote sensing image information and the tidal water level information as well as the tidal data acquisition time in the remote sensing image data, we have been calculated the water line (or edge point) digital elevation topography inversion analysis, and also constructed the digital terrain elevation model, and most importantly have provided a kind of quantitative method to get tidal zone (tide beach) terrain information.

1. Introduction

China's 18,000 kilometers of coastal zone is rich in nature resources, and the location advantage of coastal cities are obvious, such as tidal flat land resources, port resources, salt resources, fishery resources, oil resources, natural gas resources, tourism resources and placer resources, etc. [1]. Whereas there also exists fragile ecological environment and frequent disasters problems, including the population growth and urbanization, sea level rise and coastal erosion, shortage of fresh water resources and deterioration of water environment and degradation of fishery resources, and so on [2].

The intertidal zone of Bohai Sea mainly contains clay, sandy, rocky, artificial and plant, and among them the clay intertidal zone or tidal flat is the main intertidal zone of the Bohai Sea coast, and is also a typical silty tidal flat in China. Its stratum is basically covered by quaternary strata, and it is mainly composed of clay powder, sandy silt, sandy clay, silty clay, and other fine particles. Affected by the tidal water, the intertidal zone of Bohai Sea combines with the two sides of a certain range of land and shallow sea transition strip have rich land resources, tourism resources, etc., having the location advantages of great engineering construction in China's coastal areas. Thus, it is very important to investigate and monitor the topography of the tidal zone of Bohai Sea and also keep track of its topographic changes.

The traditional topographic measurement is limited by manpower, material resources and financial resources, and cannot conduct large-scale dynamic monitoring and is difficult to meet the monitoring requirements. Affected by the tide and silt, the people do not go, and the ship does not come, so the

Muddy intertidal zone in the terrain mapping is in the blank. With the development of remote sensing technology, remote sensing monitoring method has the characteristics of rapid large-area monitoring. Remote sensing technology can quickly obtain images that reflect the instantaneous state of the ground.

By this method, for tidal flats, it is possible to obtain the instantaneous water boundary information acted by tides and so on, furthermore, to calculate the elevation of the water line (or edge point) according to the tide data at the time of remote sensing image data acquisition. The tide terrain inversion based on remote sensing water line is becoming more and more realistic.

In this study, the new section of the Bohai sea coastal zone from Nanpu to Tianjin Bohai sea area has been chosen as an example. Based on the terrain feature of the information expressed by the multi period remote sensing image information, combined with the addition of the tidal water level information, we have made the digital elevation topography inversion analysis, and also constructed the digital terrain elevation model, and importantly have provided a kind of quantitative method to get tidal zone (tide beach) terrain information.

2. Survey of intertidal zone

According to the aerial geophysical remote sensing survey and application project area of Bohai coastal zone in 2016, combining with the situation of Bohai intertidal zone and the field reconnaissance, the tidal flat inversion test area chosen in this work is located in Bohai bay, which is between Tangshan South Town and Tianjin Binhai New Area Tanggu tide station, as shown in Figure 1. The tidal flat consists of silt and sandy, and the sandy tidal flat is full of various shapes of gravel and shells, covered with wormwood on its shore. Beach width (to the highest water level) is about 13m, 0-5m slope of about 10° , 5-13m slope of about 15° . The length, width and slope of the selected tidal flat are more suitable as a topographic inversion test area for tidal flats.



Figure 1. Sketch map(orange box) of topographic inversion test area of tidal flat.

3. Tidal flat topography construction method

3.1. Technique flow

The OLI (Operational Land Imager) Remote sensing image data was obtained by collecting multiple temporal phases LandSat8 and treated by the procedure of band extraction, atmospheric correction, image cutting, etc. The instantaneous water margin lines at different periods were then extracted by human-computer interaction to get the serialized water line data set. Combined with high tide level grid data generated by tide level data, the elevation of water level point was calculated. Followed by space interpolation, a highly reliable digital tidal flat elevation model DTFEM (Digital Tidal Flat

Elevation Model) was built. And finally use the aerial photography or unmanned aerial vehicle remote sensing data to verify.

3.2. Remote sensing water line extraction

The method of remote sensing water line extraction was to select the water line of image similar to the tide (high tide). The water line extracted from satellite images reflected the state of a tide moment, assuming that the water line was a contour line, and then the elevation of water level line can be calculated on the basis of the tide level data of nearby tide station. And then to inversion the tide level of tide gauges (tidal high base). A series of contour lines can be formed by obtaining a series of contour lines under different tide conditions. The digital elevation model DEM was established by digital elevation model construction technique to obtain the approximate terrain of tidal flat.

Using TM images, Kevin et al. [3] extracted the water margin of the Nile delta coast and monitored the changes in its coastline, whereas Ryu et al. [4] extracted the water channel line from the Gomso bay and discussed the relationship between the accuracy of the data in different bands and the fluctuation. Zheng Z S et al. [5] and [6] extracted the water line, using TM/ETM images for many years combined with different tidal ground spectral characteristics and the decision tree method as well as the regional growth algorithm, and simulated the satellite transit time water level by hydrodynamic model, in order to solve the problem of tide gauge shortage in the method of tide zoning correct. Hu W et al. [7] used MODIS /TM images to carry out the Multi time scale tidal flat elevation inversion of Dongsha shoal on the central coast of Jiangsu province, and they obtained the tidal terrain model with good precision through the fusion of MODIS images and TM images.

3.3. Remote sensing data selection

Considering the feasibility and cost and the incomplete high score data, LandSat8 and OLI images are collected in this study as the main remote sensing data source for analysis. The basis for selection is based on the appropriate the spatial resolution, the temporal resolution and spectral resolution.

In 2015, LandSat8 acquired a total of 23 scenes of remote sensing images covering the research area, excluding cloud and fog-stained images. And 11 scenes of OLI images were selected in this study, the transit time and of the corresponding tide height of each scene and are shown in table 1.

Table 1. General survey of remote sensing data.

Scenes number	Date	Sensor type	Transit time	Tide value (cm)
2015019	2015/1/19	OLI	10:48	141.77
2015035	2015/2/4	OLI	10:48	116.75
2015083	2015/3/24	OLI	10:47	151.84
2015115	2015/4/25	OLI	10:47	189.03
2015163	2015/6/12	OLI	10:47	201.91
2015195	2015/7/14	OLI	10:47	126.93
2015227	2015/8/15	OLI	10:47	67.62
2015259	2015/9/16	OLI	10:48	97.69
2015275	2015/10/2	OLI	10:48	118.05
2015307	2015/11/3	OLI	10:48	149.99
2015339	2015/12/5	OLI	10:48	113.09

3.4. Water level extraction and elevation of waterside line

In this study, the water body index method (NDWI, MNDWI) [8] is used to extract the water line, and then the remote sensing water line is further constructed according to the characteristics such as colour, texture and direction of the remote sensing image. The polynomial is used to fit the instantaneous tide position of the imaging time, and then this instantaneous tidal value is assigned to the corresponding water line, and the approximate elevation line of the tidal flat is obtained.

3.4.1. Water line extraction. The water line extraction technology flow is based on remote sensing image data. The water index NDWI and MNDWI [8] and [9] can be calculated by using formula (1) and (2), and then to get the imaging binary map by selecting the water index with the chosen threshold, finally, to extract the water line in the binary map.]

Because the water has the strong absorption characteristics of near-infrared and middle-wave infrared, combined with the experimental data, this study selects the two commonly used water bodies to extract the water line, that is, the normalized water index NDWI and the improved normalized water index (MNDWI):

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (1)$$

$$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR) \quad (2)$$

Here, Green is the Green band, NIR is the Near InfraRed band, MIR is the Middle InfraRed band.

The first step is to calculate the water index of the 11 scenes of OLI images using the above formula to obtain the NDWI and MNDWI data. The second step is to use the real colour image of each stage to visually select the water and land boundary points in the image to determine the threshold of the water body index. The third step is to compare the position of the water and land boundary points of the different periods under different thresholds, and select the applicable water index for each period as shown in Table 2.

Table 2. Water index and threshold.

Scenes number	Water index	Threshold	Scenes number	Water index	Threshold	Scenes number	Water index	Threshold
2015019	MNDWI	0.2	2015083	NDWI	0.1	2015227	NDWI	0.3
2015035	MNDWI	0.2	2015115	NDWI	0.1	2015259	NDWI	0.1
2015339	MNDWI	0.3	2015163	NDWI	0.1	2015275	NDWI	0.1
			2015195	NDWI	0.1	2015307	NDWI	0.2

3.4.2. Water line screening and painting. Because of the existence of long trenches on the tidal flat, there are cross or overlapping phenomena in the multi-temporal water lines extracted from the images, which make it difficult for the mathematical simulation to make the terrain singular. In order to eliminate the abnormalities of mathematical simulation, appropriate artificial editing can reduce the impact of the tide. In addition, it should screen the water line, and remove the impact of the high sediment concentration of seawater of the low tide, and also extract the obvious anomalies of the water line, as well as sea ice affect the water line, and the results are displayed in Figures 2, 3.



Figure 2. Extracts access to all water margin lines.



Figure 3. Painted and screened water line.

3.4.3. Waterside line high tide acquisition. In this study, we select the measured data of Nanpu tide station to calculate the corresponding tide value of each water line (Figure 1). The tidal high data of the Nanpu tide station records the tidal level of 3 to 4 moments in each day, that is, the maximum or minimum tide value of the period. According to the dynamic characteristics of the tide of the sea, the polynomial function is chosen to fit the change of daily tide level, and the tide level of the water line during the satellite transit is calculated, which is used as the water line tide value in Table 1.

4. Results and analysis of DEM construction in tidal flat

4.1. Tidal flat DEM

The modified water lines are given the corresponding instantaneous tide height values (the high tide datum level), and the tidal flat contour data in the research experimental zone is generated. The tidal beach DEM is constructed by ArcGIS. As the interpolation method of ArcGIS is mainly based on the point vector interpolation, it needs re-sample the high line data of the tide level and select the appropriate interpolation method. In the interpolation, the distribution of the sampling points has a direct influence on the interpolation results, and the sampling point overdrive will reduce the interpolation precision and lose the detailed information, while the distribution is easy to show the terrain singularity.

In this study, we study the resampling of line vector to point vector by using five kind of accuracy of 30m, 60m, 90m, 120m and 150m, respectively. Based on the above five kinds of resampling precision point vector data, the interpolation methods such as Kriging, IDWI and Irregular Triangulation Network are compared with different parameters. The results show that the irregular triangles are connected to the tidal level contour vector data. And it is not sensitive to the change of the resampling precision. Therefore, it is necessary to preserve the details of the tide contour data as much as possible. Finally, the tide contour data is finally resampled by 30m and generated the tidal flat digital elevation model by using the Irregular Triangulation Network is shown in Figure 4.



Figure 4. Approximate topography build of tidal flat using tide level contour and TIN in test area.

4.2. Construction result analysis

The DEM data of the experimental area measured by aerial photogram in 2016 were used as the validation data for the DEM retrieval. In order to facilitate the error statistics, the aerial photogrammetric DEM data is resampled to the same 30m×30m resolution grid size as the DEM retrieval. Then, to select randomly several topographic data of two DEM overlapped regions, the retrieved DEM is subtracted from the error of the DEM obtained by aerial photogrammetry. From the range of values of the difference, the maximum and minimum values of DEM elevation are retrieved locally, and its error is between -5m~2m, whereas the individual differences are -8.81m and 5.71m, according to the statistics data. It should be noted that this model is only approximate terrain inversion, and the aerial photogrammetric obtain of DEM is not low tide level acquisition, and thus DEM inversion results are only relative assessment, do not strictly assess the accuracy.

5. Conclusion

In this study, the extraction of water line has been developed by using the remote sensing data. Although the inversion of tidal flat topography is only a kind of approximate topography, it is still an effective way to keep track of the terrain data in the absence of measured terrain data.

Moreover, the remote sensing image data of the test area in this study is only 30 meters, but the intertidal zone terrain can meet the precision requirement of 1: 10000 ~ 1: 50000 scale remote sensing mapping & engineering drawing. Based on such technology, topographic mapping of muddy tidal flats that is difficult to reach (no man can go, and no ship can come) in traditional surveying and mapping can be carried out quickly and effectively with the use of multi-temporal satellite remote sensing data. The technical method is not only the energy saving cost, but also can fill the intertidal zone with long and wide muddy beach mapping blank.

If the domestic high resolution satellite remote sensing image data is complete, the accuracy can be improved to meet the accuracy requirements of 1:5000~1:25000 scale mapping, by using the high resolution GF-1/GF-2 optical remote sensing image data. With the use of high resolution domestic satellite remote sensing data, the precision of the built intertidal terrain model is improved. A high precision digital elevation terrain model (DEM) built by inversion in intertidal zone will be effectively applied to the coastal zone storm surge dam project construction, tidal flat reserve land resources survey and survey, muddy tide to bring the country to carry out major construction projects (nuclear power plant construction, cross-sea channel project, large-scale petrochemical refining construction,

coastal cities Group construction, etc.) site selection, coastal comprehensive geological survey, coastal zone resource development and land and sea co-ordination of sea and land terrain seamless stitching.

Acknowledgments

We thank Prof. Zhang Yongjun (China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Land and Resources) for fruitful discussions and help. Supports from the Sun Xiaoming (Tianjin Geological Survey Center of China Geological survey) and Yin Ping (Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey) are also gratefully acknowledged.

References

- [1] Wang X D, Cheng F, Kang F, Xie H L, Liu F T and Meng L 2014 *Marine Science Bulletin* **33** 559
- [2] Zhang D D, Zhang Z G, Wu F, Jin D J, Liu C L, Xiao C L, Li Q 2016 *Proc. Of The 20th China Remote Sensing Conf.*(Shenzhen:The 20th China Remote Sensing Conference)
- [3] Kevin W and El Asmar H M 1999 *Geomorphology* **29** 93
- [4] Ryu J H, Won J S and Min K D 2002 *Remote Sensing of Environment* **83** 442
- [5] Zheng Z S, Zhou, Y X, Shen F, Jiang X Z and Tian B 2007 *Remote Sensing for Land & Resources* **2** 57
- [6] Zheng Z S, Zhou Y X, Jiang X Z and Shen F 2007 *Remote Sensing Technology and Application* **22** 35
- [7] Hu W 2012 *Study on remote sensing inversion method of inconstant tidal flats DEM* (Nanjing:Nanjing University)
- [8] Wu D, Sun J, Huang W Q, Guo J and Wei S 2016 *Journal of Surveying and Mapping* **4** 8
- [9] Zhang Z D, Zang R G 2009 *CHINESE JOURNAL OF PLANT ECOLOGY* **33** 833

引用格式:冀欣阳,骆磊,王心源,等.基于“DEM-NDVI-土地覆盖分类”的天山博格达自然遗产地植被垂直带提取与变化分析[J].地球信息科学学报,2018,20(9):1350-1360. [Ji X Y, Luo L, Wang X Y, et al. Identification and change analysis of mountain altitudinal zone based on DEM-NDVI-Land cover classification in Tianshan Bogda Natural Heritage site.[J] Journal of Geo-information Science, 2018,20(9): 1350-1360.] DOI:10.12082/dqxxkx.2018.1801016

基于“DEM-NDVI-土地覆盖分类”的天山博格达自然遗产地山地垂直带提取与变化分析

冀欣阳^{1,2,4}, 骆磊^{1,3*}, 王心源^{1,3}, 李丽^{1,2,3}, 万红^{1,2,3,5}

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 数字地球重点实验室, 北京 100094; 2. 中国科学院大学, 北京 100094; 3. 联合国教科文组织国际自然与文化遗产空间技术中心, 北京 100094; 4. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 5. 山东农业大学信息科学与工程学院, 泰安 271018

Identification and Change Analysis of Mountain Altitudinal Zone in Tianshan Bogda Natural Heritage Site Based on “DEM-NDVI-Land Cover Classification”

Ji Xinyang^{1,2,4}, LUO Lei^{1,3*}, WANG Xinyuan^{1,3}, LI Li^{1,2,3}, WAN Hong^{1,2,3,5}

1. Key Laboratory of Digital Earth Science, 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. International Centre on Space Technologies for Natural and Cultural Heritage, Beijing 100094, China; 4. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China; 5. College of Information Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

Abstract: The mountain altitudinal zone in Bogda Natural Heritage Site, one of the most typical representatives in the northern slope of Mount Tianshan, reflects the distribution characteristics and change rules of vegetation in the temperate desert region. To obtain the characteristics of the vegetation distribution, several steps have been designed and implemented. Firstly, the Landsat images were classified by supervised classifier for producing land cover classification results. Secondly, the vegetation coverage characteristics in Bogda Natural Heritage Site were described by a special scatterplot which integrated the land cover classification with the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Digital Elevation Model (DEM). Thirdly, the quantity ratios of each land cover type were calculated in different altitude ranges using the window-sliding method, and the boundary altitudes of two adjacent zones were identified based on the thresholding analysis of the quantity ratios. Lastly, the attribution analysis of vertical vegetation zone changes was conducted by combing the climate data (temperature and precipitation) and NDVI. The results indicated that: (1) the DEM-NDVI-Land Cover Classification Scatterplot showed the change characteristics of both NDVI and land cover classification with increasing altitude in Bogda: the NDVI changed in an inverted U-shape and the land cover classification displayed agglomeration effect in a fixed altitude range. (2) in 1989 and 2016, the upper and lower boundary

收稿日期: 2018-02-10; 修回日期: 2018-03-28.

基金项目: 中国科学院科技服务网络计划(KFJ-SW-STS-181); 国家重点研发计划(2016YFC0503302)。[Foundation items: Science and Technology Service Network Initiative, No.KFJ-SW-STS-181; National Key Research and Development Plan, No.2016YFC0503302.]

作者简介: 冀欣阳(1993-), 女, 硕士生, 主要从事山地植被垂直带的提取方法研究。E-mail: jxy_207@163.com

*通讯作者: 骆磊(1988-), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事遥感考古, 数字遗产等研究。E-mail: luolei@radi.ac.cn

altitudes of the bottom-up six vegetation zones were 1278, 1784, 2706, 3272, 3636 and 1185 m, 1759, 2730, 3293, 3690, respectively. (3) during the period of 1989-2016, the mountain altitudinal zones have an obvious response to the rising of the temperature and rainfall. The Temperate Desert Steppe Zone, shrinking downward about 93 m of its upper boundary, was the most sensitive one to the climate changes. The range of Mountain Coniferous Forest Zone expanded by 49 m to both upper and lower directions. The Mountain Meadow Zone monolithic moved up about 20m with an unchanged span, and the Alpine Snow-Ice Zone, retreating upward about 54m of its lower boundary, was affected by the global warming.

Key words: remote sensing; Bogda; vertical vegetation zone; DEM; NDVI

***Corresponding author:** Luo Lei, E-mail:luolei@radi.ac.cn

摘要:本文基于Landsat影像数据获取天山博格达自然遗产地土地覆盖分类,结合归一化植被指数(NDVI)和数字高程模型(DEM)构建“DEM-NDVI-土地覆盖分类”散点图分析研究区植被受海拔和坡向的水热空间变化影响的分布特征,通过概率统计分析提取博格达遗产地山地垂直带,并结合研究区的气温、降水数据和NDVI变化特征分析垂直带变化的原因。研究结果表明:① 本文利用“DEM-NDVI-土地覆盖分类”散点图,揭示了研究区1989年和2016年的NDVI值和分类类别随着海拔上升的变化特征,其中NDVI值随着海拔上升呈现“倒U形”变化,而不同分类类别在一定的海拔区间内呈现出聚集效应,且不同分类类别有明显的高程界限。② 1989年和2016年博格达遗产地山地垂直带分带上限分别为:1278 m和1185 m(温带荒漠草原带)、1784 m和1759 m(山地草原带)、2706 m和2730 m(山地针叶林带)、3272 m和3293 m(高山草甸带)、3636 m和3690 m(高山垫状植被带)。③ 博格达遗产地1989年和2016年山地垂直带受区域气温升高和降雨增加的影响有较为明显的改变,其中温带荒漠草原带最为敏感,其上限变化最大,向下收缩93 m;山地针叶林带的分布范围则向两侧扩张49 m;山地草甸带带宽基本保持不变,但整体上移了约20 m;冰雪带则受到全球气候变暖的影响向上退缩54 m。

关键词:遥感;博格达;山地垂直带;DEM;NDVI

1 引言

新疆天山于2013年被联合国批准为世界自然遗产地,由博格达、喀拉峻-库尔德宁、托木尔和巴音布鲁克4个区域组成。其中博格达遗产地具有天山北坡最典型的山地垂直带,是全球温带干旱区山地垂直自然带的典型代表^[1],作为全球气候变化的敏感区,其山地垂直带对全球气候变化具有灵敏的指示作用^[2]。因此,博格达自然遗产地山地垂直带的变化特征对其保护和发展具有重要意义^[3]。

早期山地垂直带研究主要采用野外考察的方式,通过设置样方、样线等方法,统计植被数量特征并进行垂直带划分^[4-6],然而受到人力、物力以及山区自然条件的限制,野外考察法虽能准确对局部植被进行垂直带划分,但难以实现大面积均匀取样,不能进行大范围山地垂直带划分。随着遥感技术的发展,邻域分析法^[7]、边缘检测法^[8]以及利用较高分辨率遥感影像进行目视解译^[9]等利用遥感影像定量刻划山地垂直带的方法成为了研究的热点,但大多只能提取出垂直带分界线,而无法得到分带海拔;随后出现了综合遥感影像等多元数据的数字识

别方法,如孙然好等^[10]利用专题植被图、遥感数据及DEM自动提取昆仑山北坡垂直带谱信息,焦刚利用植被分类图、海拔数据和坡向数据刻画长白山山地垂直带谱^[11],但现有的山地垂直带研究结果,分界线提取多以百米为单位^[12],精度较低且无法实现垂直带变化监测。

课题组前期分别利用DEM-NDVI散点图法对卧龙大熊猫自然保护区和王朗自然保护区山地垂直带进行了提取^[13-14],精度突破了百米单位,但均只对以坡为单位的研究区进行分析。本文对前者的方法进行改进,增加了山地垂直带提取方法的普适性,利用土地覆盖分类数据、NDVI数据、海拔数据和坡向数据,将遥感影像土地覆盖分类数据与概率统计分析相结合,构建“DEM-NDVI-土地覆盖分类”散点图,对博格达峰的植被覆盖情况进行了描述,同时利用滑动窗口对散点图不同区段内的DEM和遥感影像土地覆盖分类数据进行统计,通过设置概率阈值的方法将不同山地垂直带之间的界限量化为一定的分界海拔,从而得到1989年和2016年博格达遗产地山地垂直带,并结合气候数据和NDVI变化进行垂直带变化归因分析。

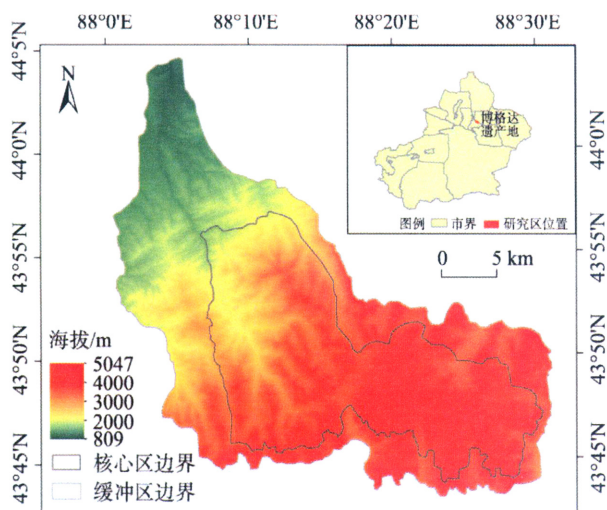


图1 博格达自然遗产地概况及地理位置

Fig. 1 Location and elevation of Bogda Natural Heritage Site

2 研究区概况

博格达世界自然遗产地位于新疆维吾尔自治区阜康市,中心地理坐标为 $43^{\circ}50'00''\text{N}$, $88^{\circ}17'12''\text{E}$,其总体地势由西北向东南逐渐抬高,在40 km的距离内,海拔从800 m上升至5000 m,如图1所示,并发育了6个完整的垂直自然带^[15]。本文的研究区域是博格达遗产地的缓冲区范围 and 核心区范围总和,其中核心区面积为 380.69 km^2 ,缓冲区面积为 181.46 km^2 ^[16]。博格达遗产地处于西天山,其大部分区域坡向朝北,属于大西洋气流和北冰洋气流的迎风坡,气候较湿润,是温带干旱区中心的“湿岛”,并形成较

为完整的山地垂直带。根据《中国植被》分类^[17],其自然植被有8个植被型、18个植被亚型和27个群系,主要植被类型包括高山垫状植被、高山草甸、亚高山草甸、山地常绿针叶林、草甸草原和温性(真)草原,其中雪岭云杉群系是山地常绿针叶林中的主要代表群系,是天山的特有树种。

3 数据与研究方法

3.1 数据源

本文使用的数据主要包括 Landsat 遥感影像、DEM数据、气象站点数据,同时利用野外采集数据和 Google Earth 高分影像辅助进行精度验证,具体如下:

(1) Landsat 影像获取自 USGS 网站 (glovis.usgs.gov),为了更准确地刻画博格达遗产地山地垂直带,选取云量较少且无积雪覆盖的夏季影像进行研究,分别是成像时间为1989年8月19日的 Landsat5 TM数据和2016年7月28日的 Landsat8 OLI数据,空间分辨率为30 m,分别如图2所示;

(2) DEM数据是获取自中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云 (www.gscloud.cn) 的 ASTER GDEM 数字高程数据,由日本 METI 和美国 NASA 联合研制并分发,空间分辨率为1弧度秒(约30 m);

(3) 气象数据是下载自“中国气象数据网” (www.data.cma.cn) 的达坂城地面观测站数据,达坂城地面观测站是距离研究区最近的观测站,位于研究区南部,下载数据包括1980–2016年的年平均气

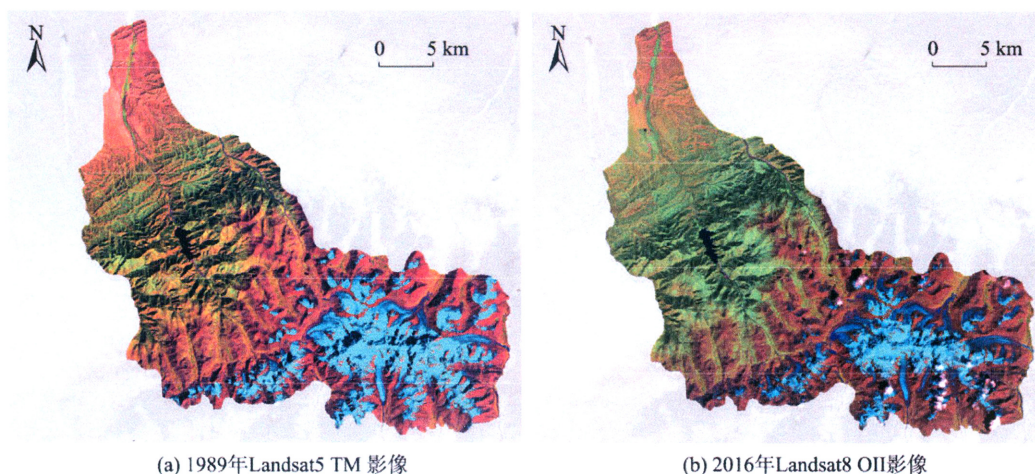


图2 博格达遗产地遥感影像

Fig. 2 Landsat-5 TM image of Bogda Site in 1989 and Landsat-8 OLI image of Bogda Site in 2016

温和年降水量数据;

(4)山地垂直带提取结果的精度验证辅助数据,包括2015年8月和2016年7月2次野外考察获取的采样区GPS数据、高程数据及无人机数据以及获取自Google Earth的2016年高分影像数据和海拔数据。

3.2 研究方法

本文通过建立DEM、NDVI和遥感影像土地覆盖分类结果散点图,分析1989年和2016年博格达遗产地NDVI和土地覆盖分类属性随海拔上升的变化规律,并在此基础上提取1989年和2016年博格达遗产地山地垂直带。博格达遗产地山地垂直带属于西北干旱带谱中的温带荒漠垂直带系列,本文参考张百平提出的中国山地垂直带谱体系^[12,18-19],结合研究区遥感影像和散点图趋势,将博格达遗产地的植被自下而上分为6个垂直带,包括温带荒漠草原带-山地草原带-山地针叶林带-高山草甸带-高山垫状植被带-冰雪带,技术流程图如图3所示。

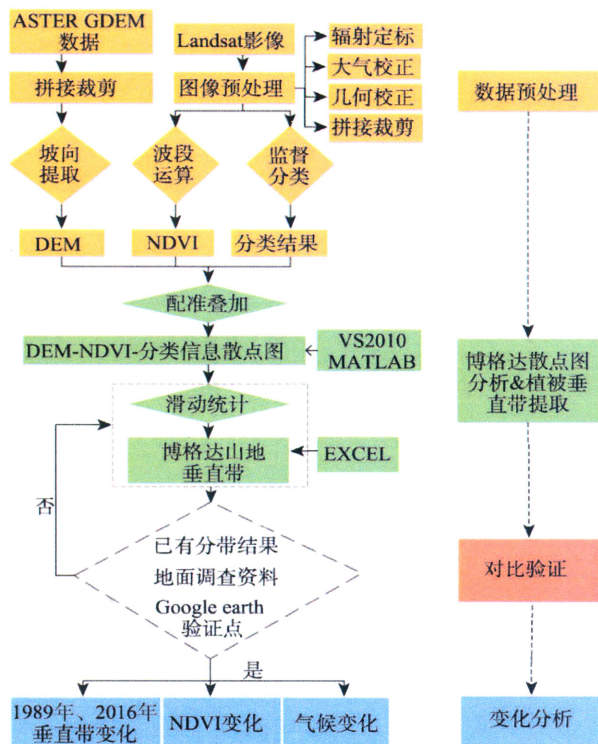


图3 技术流程图

Fig. 3 Flowchart of the analysis routine used in this study

3.2.1 数据预处理

(1)坡向掩膜处理

研究表明,干旱区南坡比北坡的温度低3~6℃,

导致南北坡的气温和土壤湿度产生较大差异^[20]。博格达遗产地处于旱区,不同坡向太阳照射强度不同,导致北坡相对湿润,南坡则相对干旱,同一海拔高度在南北坡发育出不同的植被类型。其中差异较为明显的是山地针叶林带,随着山地海拔的起伏变化,常常出现北坡针叶林,南坡草地交替出现的分布现象,对博格达遗产地山地垂直带的提取产生了一定的影响。因此,为使垂直带在海拔上具有连贯性,本文利用坡向信息对DEM数据和土地覆盖分类数据进行掩膜处理,仅对博格达遗产地坡向朝北的区域进行研究,从而提高山地垂直带提取的准确度。

(2)NDVI计算

首先对Landsat影像进行数据预处理,利用辐射定标将传感器记录的DN值转换成反射率,通过FLAASH大气校正消除遥感图像中由大气散射和吸收所引起的辐射误差,并以2016年影像为基准对1989年影像进行几何校正,经过拼接裁剪得到预处理后的研究区遥感影像。

NDVI是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子,其数值范围为[-1, 1],负值指示地面覆盖为云、水、雪等对可见光高反射的地物,0指示岩石或裸土,正值指示有植被覆盖,且随植被覆盖程度增加而增大^[21]。本文利用波段运算提取研究区Landsat TM影像和Landsat OLI影像的NDVI,借助NDVI数据描述研究区地表植被覆盖情况,公式如式(1):

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (1)$$

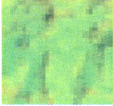
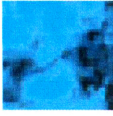
式中: ρ_{NIR} 为近红外反射率; ρ_R 为红光反射率,在TM影像中分别为波段4和波段3,在OLI影像中分别为波段5和波段4。

(3)遥感影像解译

本文利用最大似然监督分类法,对博格达遗产地的遥感影像进行土地覆盖分类,不同土地覆盖类型对应不同垂直带类型,并建立解译标志如表1。其中山地草原带和高山草甸带的光谱特征较为相似,难以准确分类,因此为控制垂直带提取准确性,在影像分类过程中未区分二者,后续将基于山地垂直带提取方法进行划分。根据解译标志对1989年和2016年的遥感影像选取足够多且尽量一致的训练样本,以保证分类结果具有较强的可比性,并根据训练样本的均值和方差对影像进行最大似然分类,之后对分类结果进行分类后处理,消除小图斑,得到更为准确的土地覆盖分类结果。

表1 博格达遗产地植被垂直带解译标志

Tab. 1 Interpretation keys of the mountain altitudinal zone in Bogda Site

土地覆盖类型	影像特征	提取特征	备注	垂直带类型
荒漠草原		形状不规则,片状分布,色调呈淡红色夹杂淡绿色,边界模糊	分布在海拔较低地区,有稀疏植被覆盖	温带荒漠草原带
草地		形状不规则,片状分布,随覆盖度而变化,色调呈绿色夹杂淡红色或亮绿色,边界模糊	山地草原带分布于低海拔处,以耐干旱的针茅植被为主;高山草甸带分布于较高海拔处,以较湿润的高草植被为主	山地草原带&高山草甸带
林地		形状不规则,斑块状分布,色调呈深绿色,边界清晰	分布在中海拔地区,地形较为破碎,植被郁闭度高	山地针叶林带
裸地		形状不规则,片状分布,色调呈红褐色,边界模糊	位于高海拔处,地表植被较少,以苔藓类为主	高山垫状植被带
冰川永久积雪		形状不规则,片状分布,呈现浅蓝色,夹杂黑色阴影,边界清晰	位于海拔最高处,边界有冰川舌分布	冰雪带
水体		几何特征明显,呈带状或块状分布,色调均匀,呈深蓝色,边界清晰	分布在河谷、冰川舌附近,主要包括天池、部分河流和冰蚀湖	水体

3.2.2 山地垂直带提取方法

完成数据预处理工作之后,将DEM、NDVI和土地覆盖分类结果的投影系统、像元大小和行列数进行统一,并以30 m×30 m的分辨率进行叠加,剔除无效信息后得到博格达研究区每个像元的高程、NDVI和土地覆盖分类信息的三维数组,利用MATLAB建立“DEM-NDVI-土地覆盖分类”散点图,分析研究区NDVI值和土地覆盖分类随着海拔上升的变化特征。

在此基础上,精确提取博格达遗产地山地垂直带的前提是将不同垂直带之间的界限量化成一个较为准确的分带海拔。假设A带和B带为相邻的山地垂直带,依次统计A、B带过渡区域内不同海拔范围的像元分类属性占比,随着海拔上升,A带所像元占比例逐渐减少,而B带像元比例逐渐增加,当B带所占比例到达阈值,所对应的海拔高度即为A带和B带间的分带海拔。本文设置窗口为5 m,滑动距离为1 m,对研究区不同海拔区段的散点分类比例进行统计分析,并利用阈值找到不同垂直带之间的界限。根据多次试验及实地考察,将不同植被带之间界限对应的阈值设置为50%,表示随着海拔上升,当植被覆盖的优势组成发生变化时,即垂直带发生变化。

4 结果与讨论

4.1 博格达遗产地土地覆盖分类结果

利用最大似然法监督分类对博格达遗产地遥感影像进行分类,1989年和2016年的土地覆盖分类结果分别如图4所示。

对1989年和2016年的分类结果进行精度评价,在研究区植被分类结果中分别随机选取200个检查点获取其分类属性,与影像中对应点的植被类别进行对比,用正确分类的像元总和与总像元数的比值作为分类的总体精度,评价影像分类结果,得到1989年的分类总体精度为90%,2016年的分类总体精度为92.5%,精度较高,满足后续山地垂直带提取要求。

4.2 博格达遗产地山地垂直带结果

4.2.1 “DEM-NDVI-土地覆盖分类”散点图分析

借助MATLAB对博格达遗产地的1989年和2016年的“DEM-NDVI-土地覆盖分类”散点图进行展示,如图5,其中横坐标代表海拔、纵坐标代表NDVI、颜色代表土地覆盖分类信息。

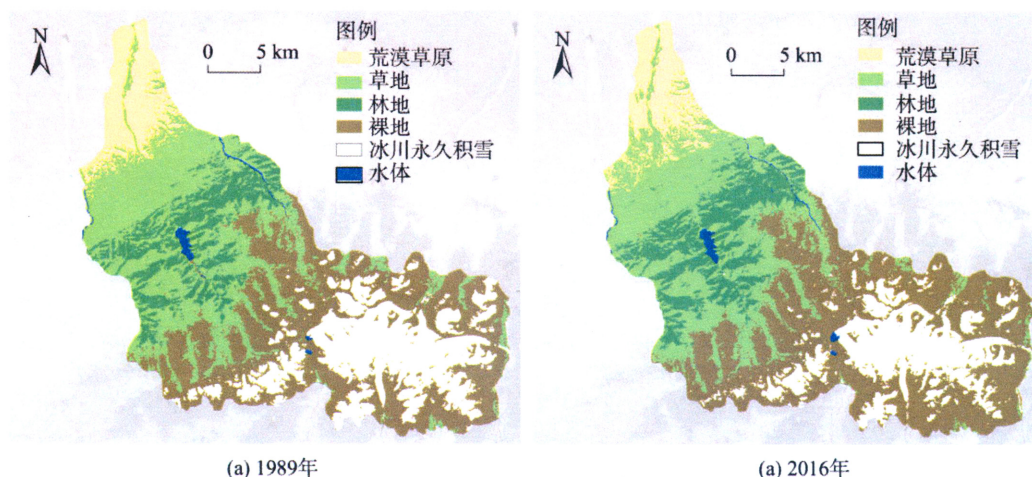


图4 基于监督分类的1989年(a)和2016年(b)博格达遗产地土地覆盖分类图

Fig. 4 Land Use Classification of Bogda Site in 1989 (a) and 2016 (b) based on supervised classification

两年散点分布均表现为倒U形, NDVI随着海拔上升而呈现“均匀上升-保持稳定-均匀下降”的趋势。利用min-max标准化法分别对DEM数据和NDVI数据进行线性变换, 转换为映射到[0, 1]区间的无量纲数值, 使二者具有可比性, 公式如式(2):

$$F_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

式中: F_i 为研究区第 i 个数据标准化的数值; X_i 为第 i 个数据的原始值; $X_{\min}$ 为该数据的最小值; $X_{\max}$ 为该数据的最大值。

对经过标准化处理的DEM数据和NDVI数据进行二次多项式函数拟合, 结果如表2所示, 1989年的 R^2 为0.73, 2016年的 R^2 为0.76, 可以看出DEM和NDVI之间有着明显的相关性, 且2016年二者的

相关性更高。

将不同土地覆盖分类类型与山地垂直带类型对应, 博格达研究区随着海拔升高, 气温逐渐降低, 降水逐渐增加^[22], 导致植被生长的热量和水分组合环境随海拔升高而发生改变, NDVI和植被类型也随之呈现出规律性变化, 形成6个山地垂直带分带, 包括温带荒漠草原带、山地草原带、山地针叶林带、高山草甸带、高山垫状植被带和冰雪带, 对应散点图中的6个颜色, 同时不同垂直带的散点之间存在着明显分界。海拔800~1300 m阶段, 植被受到干旱胁迫, 形成干旱的荒漠草原, 地表植被主要以耐干旱的针茅群系植物为主, NDVI值基本处于0.4以下; 海拔1300~1600 m阶段, 随着海拔上升, 土壤水分含量上升, NDVI也呈现出均匀上升的趋势, 植被覆盖逐渐从荒漠过渡到草原并达到NDVI峰值; 海

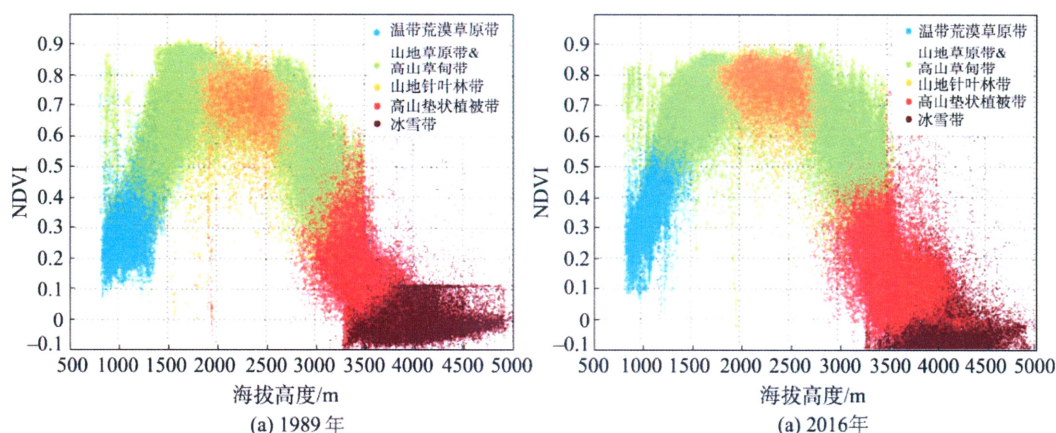


图5 1989年和2016年研究区“DEM-NDVI-土地覆盖分类”散点图

Fig. 5 “DEM-NDVI-Land Use Classification” scatter plots of Bogda Site in 1989 and 2016

表2 1989年和2016年散点拟合函数

Tab. 2 The fitting functions of scatter plots in 1989 and 2016

年份	a	b	c	R ²
1989	-1.525	0.8476	0.691	0.7254
2016	-1.706	0.9711	0.7158	0.7592

注:函数形式为 $y=ax^2+bx+c$, x 为海拔高度, y 为NDVI值

拔1800~2500 m阶段,随着气温降水的逐渐上升,到达水热组合环境最优的海拔区段,植被覆盖由针叶林代替,而NDVI稳定在0.6~0.8之间;海拔2500~3200 m阶段,土壤水分较为充沛,形成以高山蒿草为主的较湿润的高寒草甸,同时随着气温降低,NDVI从峰值逐渐下降;海拔3200~3700 m阶段,由于气温逐渐下降,限制了植被对水分的吸收,表现出明显的生理干旱胁迫特征,NDVI从0.4均匀下降并出现零点;海拔3700~5047 m阶段,地表被永久积雪和冰川所覆盖,NDVI表现为负值。

4.2.2 博格达遗产地山地垂直带提取结果

对“DEM-NDVI-土地覆盖分类”散点图中不同海拔区段的像元分类属性占比进行滑动统计,并通过设置阈值得到1989年和2016年博格达遗产地山地垂直带分带结果,结果如表3。可知温带荒漠草原带与山地草原带的分界线下降93 m,山地针叶林带下限下降25 m,上限上升24 m,高山草甸带和高山垫状植被带分界上移21 m,冰雪带下限上升54 m。

4.3 博格达遗产地山地垂直带变化分析

4.3.1 博格达遗产地NDVI变化分析

分别统计1989年和2016年博格达遗产地的NDVI值,1989年NDVI平均值为0.31,2016年NDVI平均值为0.34,两年间均值略有增加。同时计算两年NDVI的差值并分级,如图6,可以看出,相较于1989年,2016年研究区NDVI值呈现大范围上升趋势,其中温带荒漠草原带局部和高山草甸带上限处NDVI值明显增加,变化幅度大于0.15;而山地草原带内部分区域NDVI值呈现降低趋势,局部变化

幅度甚至大于0.15。

4.3.2 博格达遗产地气候变化分析

对达坂城气象站1980~2016年的年平均气温和年降水量进行统计,二者均呈现波动上升趋势,其中年平均气温涨幅大约1℃如图7(a),年降水量涨幅大约30 mm如图7(b),气候由暖干向暖湿发展。同时观察1989年和2016年前后3年的气象数据,发现气温有较明显变化,而降水量基本持平,但气温升高导致冰川加速消融,河流径流量增加,因此博格达地区两个研究年份的气温和土壤水分均呈上升趋势。

4.3.3 博格达遗产地山地垂直带变化归因分析

结合研究区NDVI变化以及气温降水数据,对博格达遗产地1989年和2016年山地垂直带变化进行如下分析:

(1)温带荒漠草原带的上限变化最为明显,结合遥感影像图2和散点图5可知,草原覆盖范围扩大,主要因为1980年以来,气温降水均稳步上升(图7),冰川融水有所增加,使研究区低海拔处植被覆盖范围扩大,植被覆盖度也有所提高(图6),博格达遗产地生态环境有所改善。

(2)山地草原带下限下降93 m,上限下降25 m,虽然垂直带范围扩大,但由图6中NDVI变化可知,山地草原带内部的植被覆盖度有所下降。分析植被覆盖度下降的原因,主要集中在两个方面:①过度放牧是造成保护区内草场退化的主要原因;②过度的旅游开发也在一定程度上造成了草场的退化,如游客中心、栈道、停车场、游客用蒙古包等旅游设施的建设,以及随便踩踏草场、骑乘马匹在天池湖边走等游客行为。

(3)山地针叶林带下限下降25 m,上限上升24 m,带宽由922 m变为971 m,条带整体变宽,而雪岭云杉作为天山的特有树种,其适宜生长的范围变广。博格达研究区位于干旱区,山地针叶林带分布的上限和下限受到温度和降水综合影响,气温升高、降水量增加,山地针叶林带扩张,反之,则缩

表3 1989年和2016年分带海拔结果(m)

Tab. 3 Results of zonal elevation in 1989 and 2016

	温带荒漠草原带 -山地草原带	山地草原带 -山地针叶林带	山地针叶林带 -高山草甸带	高山草甸带 -高山垫状植被带	高山垫状植被带 -冰雪带
1989年	1278	1784	2706	3272	3636
2016年	1185	1759	2730	3293	3690
差值	-93	-25	24	21	54

注:差值为正值代表分界线海拔上升,负值代表分界线海拔下降

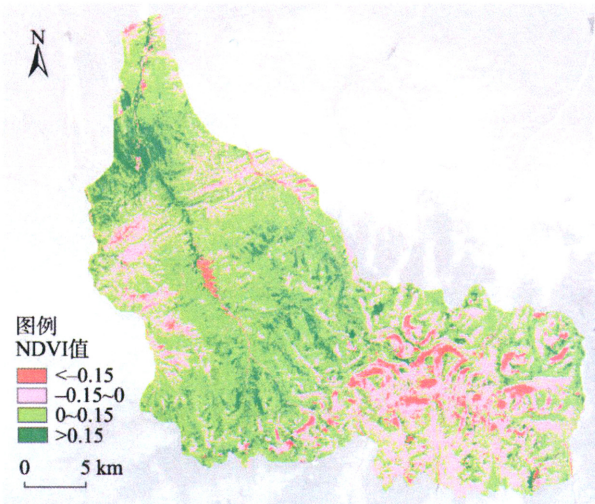


图6 1989年和2016年博格达遗产地NDVI值变化图

Fig. 6 The map of NDVI chnges in Bogda Site from 1989 to 2016

小^[23]。因此,本研究中山地针叶林带的变化与图7中气温升高、降水量增加的变化趋势吻合。

(4)高山草甸带和高山垫状植被带的分界线上移21 m,且草甸带上限处NDVI值明显增加(图6),主要原因是高山草甸带所处海拔较高,不易受到旅游业的影响,同时气候变化使得植被生长情况改善。

(5)随着全球气候变暖加剧,博格达地区冰川年均退缩率不断增加^[24],本文中冰雪带下限上升了54 m,气温上升导致冰川和永久积雪的边界存在明显退缩。

4.4 精度验证

本文利用野外实地考察和Google Earth高分影像数据在每个地类变化明显的区域选取6个点,共

36个验证点对山地垂直带提取结果进行验证。其中,野外实地考察数据来自2016年8月和2017年7月博格达遗产地两次为期3天的野外实地考察,利用无人机和高精度GPS记录3个验证区的平均分界海拔,野外考察路线及验证区无人机拍摄数据如图8中所示;除此之外,本文在Google Earth高分影像上每个地类变化明显的区域选取共33个验证点,并获取其海拔高度,作为山地垂直带提取结果的精度验证辅助数据。

获取每个验证点对应的海拔,并与本文山地垂直带提取结果进行对比,如表4所示,可知验证点海拔在分带海拔上下波动,但总体趋势与研究结果吻合。其中山地针叶林带的上下限和冰雪带的下限属于突变型界限,其验证点海拔较为稳定,仅在结果海拔上下小范围波动,差值最大为20 m,说明突变型界限与分带海拔较为吻合,山地垂直带提取效果较好;温带荒漠草原带与山地草原带的分界、高山草甸带与高山垫状植被带的分界属于渐变型界限,其验证点海拔波动较大,最大差值达到80 m,说明渐变型界限受到微地形等因素影响较为显著,与海拔契合度低于突变型界限。

同时,本文利用前人已有研究成果与本文提取结果进行对比,而天山博格达遗产地的山地垂直带相关研究较少,引用较为广泛的是出自2006年《天池博格达自然保护区综合科学考察报告》中的结果,山地垂直带分带及上限分别为:温带荒漠草原带(1100 m)、山地草原带(1650 m)、山地针叶林带(2700 m)、亚高山草甸带(2900 m)、高山草甸带(3300 m)、高山垫状植被带(3700 m)、冰雪带,本文研究结果与该结果趋势基本一致。

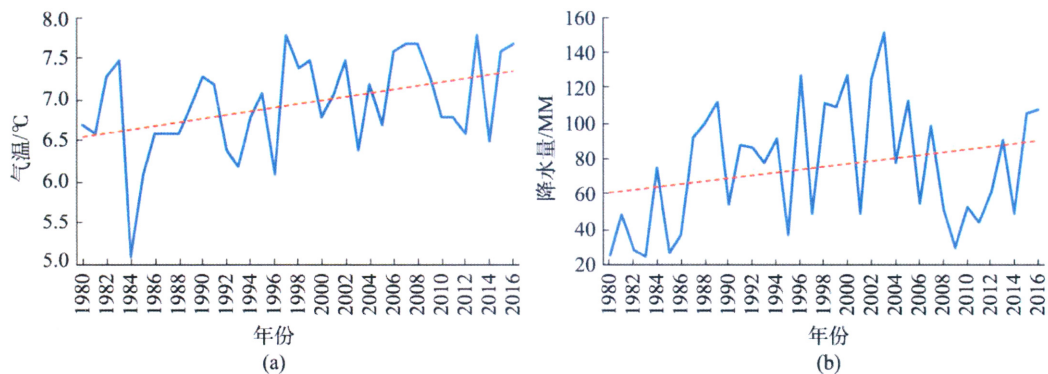


图7 达坂城气象站1980–2016年气温与降水变化趋势图

Fig. 7 Change trends of temperature and precipitation in Dabancheng station from 1989 to 2016

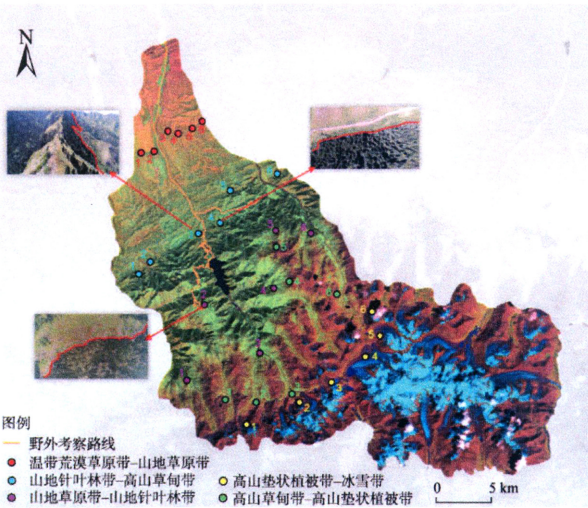


图8 植被垂直带提取结果野外考察与无人机调查验证点
Fig. 8 Validation points of the mountain altitudinal zone based on field survey and UAV investigation

5 结论

本文利用遥感影像数据和 DEM 数据生成“DEM-NDVI-土地覆盖分类”散点图,结合概率统计手段对博格达世界自然遗产地 1989 年和 2016 年山地垂直带进行提取,并基于 NDVI 变化和气温降水数据进行山地垂直带变化分析,结论如下:

(1)博格达遗产地位于温带干旱区,植被随海拔升高呈现出规律性带状更替,形成山地垂直带,自下而上包括温带荒漠草原带、山地草原带、山地针叶林带、高山草甸带、高山垫状植被带和冰雪带,其中山地针叶林的上下限和冰雪带的下限为突变型界限,山地垂直带分带海拔提取效果较好,而温带荒漠草原带和山地草原带之间的分界、高山草甸带和高山垫状植被带之间的分界为渐变型界限,与

表 4 植被垂直带提取验证结果(m)
Tab. 4 Verification of mountain altitudinal zone results

	温带荒漠草原带 -山地草原带		山地草原带 -山地针叶林带		山地针叶林带 -高山草甸带		高山草甸带 -高山垫状植被带		高山垫状植被带 -冰雪带	
	海拔	差值	海拔	差值	海拔	差值	海拔	差值	海拔	差值
1	1174	11	1774	-15	2713	17	3309	-12	3681	9
2	1186	-1	1761	-2	2745*	-15	3272	21	3672	18
3	1192	7	1742*	17	2726	4	3232	39	3697	-7
4	1105	80	1740*	19	2736	-6	3297	-m	3666	24
5	1147	38	1741	18	2743	-13	3307	-19	3705	-15
6	1194	-9	1779	-20	2737	-7	3317	-29	3687	3
结果	1185		1759		2730		3293		3690	

注: *为实地考察数据;差值为正值代表验证点海拔大于本文结果;差值为负值代表验证点海拔小于本文结果

海拔契合度低于突变型界限;

(2)本文利用“DEM-NDVI-土地覆盖分类”散点图描述了博格达遗产地的植被覆盖情况,展现了该区 1989 年和 2016 年的 NDVI 值和山地垂直带分类随着海拔上升的变化特征,其中 NDVI 值随着海拔上升呈现为“均匀上升-保持稳定-均匀下降”的倒 U 形,而散点的分类属性则在不同的海拔区间呈现出聚集效应,且不同分带的散点间有明显界限;

(3)1989 年和 2016 年,博格达遗产地的年均气温和年降水量均稳步上升,使得山地垂直带发生明显变化,其中温带荒漠草原带对气候变化最为敏感,其上限变化最大,向下收缩 93 m;山地针叶林带

分布于水热组合环境最优的海拔区段,海拔范围受到气候改善的影响向两侧扩张 49 m;山地草甸带宽基本保持不变,整体上移约 20 m;冰雪带则受到全球气候变暖的影响向上退缩 54 m;

(4)现有的山地垂直带相关研究使用的 DEM 数据主要包括 SRTM DEM 数据和 ASTER GDEM 数据,二者垂直精度均为 20 m 左右^[13,14,25]。本文基于 ASTER GDEM 数据,结合土地覆盖分类数据和 NDVI 数据,并利用概率统计从宏观角度提取博格达遗产地山地垂直带,且经验证山地垂直带提取结果较好,但由于无法获得研究区更高精度的 DEM 数据,导致本文山地垂直带提取结果存在一定误差,是论文下一步需要改进的方向。

参考文献(References):

- [1] 郭聃. 长白山植被垂直带地形控制机制研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2014. [Guo D. The study of topographic controls on altitudinal belt on Changbai Mountain[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2014.]
- [2] 高峰. 天池博格达区域生态环境问题及对策[C]. 广西: 中国林业学术大会, 2009. [Gao F. The Ecological environment problems and Countermeasures of Tianchi in Bogda[C]. Guangxi: China forestry Academic Conference, 2009.]
- [3] 王献溥, 于顺利, 汤大友. 中国温带荒漠山地垂直地带性的遗产价值[J]. 干旱区研究, 2009, 26(5): 694-701. [Wang X P, Yu S L, Tang D Y. The heritage value of mountain vertical zonation in temperate desert region of china[J]. Arid zone research, 2009, 26(5): 694-701.]
- [4] 张利. 大兴安岭中部地区东坡垂直带谱研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2007. [Zhang L. The research on the east slope of middle region of Daxing'an Mountains vertical zone[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2007.]
- [5] 刘伦辉, 余有德, 张建华. 横断山自然植被垂直带的划分[J]. 云南植物研究, 1984, 6(2): 205-216. [Liu L H, Yu Y D, Zhang J H. The division of the vertical vegetation zone in Hengduan Shan[J]. Acta botanica Yunnanica, 1984, 6(2): 205-216.]
- [6] 张春雨. 长白山针阔混交林种群结构及环境解释[D]. 北京: 北京林业大学, 2009. [Zhang C Y. Population structure of tree species and environmental interpretation in coniferous and broadleaved mixed forest in Changbai Mountain[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2009.]
- [7] Král K. Classification of current vegetation cover and Alpine treeline ecotone in the Praděd Reserve (Czech Republic), using remote sensing[J]. Mountain Research and Development, 2009, 29(2): 177-183.
- [8] Danzeglocke J. Remote sensing of upper timberline elevation in the Alps on different scales[C]. In: Dubrovnik, Croatia. New strategies for European remote sensing. Proceedings of the 24th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories. Millpress Science Publishers, 2005: 145-151.
- [9] 李艳忠, 罗格平, 周德成, 等. 天山北坡高山林线分布的生态地理特征[J]. 中国沙漠, 2012, 32(1): 122-131. [Li Y Z, Luo G P, Zhou D C, et al. Eco-geographical characteristics of alpine timberlines on northern slope of Tianshan Mountains[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(1): 122-131.]
- [10] 孙然好, 张百平, 肖飞, 等. 山地垂直带谱的数字识别方法探讨[J]. 遥感学报, 2008, 12(2): 305-311. [Sun R H, Zhang B P, Xiao F, et al. Exploring the method of digital identification of mountain altitudinal belts[J]. Journal of Remote Sensing, 2008, 12(2): 305-311.]
- [11] 焦刚. 长白山植被垂直带谱可视化表达研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2012. [Jiao G. Visualization of expression of the vertical band of the Changbai Mountain vegetation [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2012.]
- [12] 张百平, 许娟, 武红智, 等. 中国山地垂直带的数字集成与基本规律分析[J]. 山地学报, 2006, 24(2): 144-149. [Zhang B P, Xu J, Wu H Z, et al. Digital Integration and pattern analysis of mountain altitudinal belts in China[J]. Mountain Research, 2006, 24(2): 144-149.]
- [13] 常纯, 王心源, 杨瑞霞, 等. 基于DEM-NDVI的高山植被带定量刻画[J]. 地理研究, 2015, 34(11): 2113-2123. [Chang C, Wang X Y, Yang R X, et al. A quantitative characterization method for alpine vegetation zone based on DEM and NDVI[J]. Geographical Research, 2015, 34(11): 2113-2123.]
- [14] 廖颖. 王朗自然保护区亚高山植被垂直带精细观测与定量刻画[D]. 北京: 中国科学院大学, 2016. [Liao Y. Fined observation and quantitative characterization on the altitudinal belt of subalpine vegetation in Wanglang Nature Reserve[D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2016.]
- [15] 李东, 由亚男, 栾福明, 等. 博格达世界自然遗产地旅游景观资源评价与保护研究[J]. 世界地理研究, 2015, 24(1): 159-167. [Li D, You Y D, Luan F M, et al. A research of tourism landscape resources evaluation and protection for Bogda World Natural Heritage Site[J]. World Regional Studies, 2015, 24(1): 159-167.]
- [16] 张亮. 新疆天山列入世界自然遗产[N]. 伊犁日报, 2013-06-22(001). [Zhang L. The Tianshan Mountains in Xinjiang was included in the world natural heritage[N]. Yili Daily, 2013-06-22(001).]
- [17] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980. [Wu Z Y. Chinese Vegetation[M]. Beijing: Science Press, 1980.]
- [18] 张百平, 谭娅, 莫申国. 天山数字垂直带谱体系与研究[J]. 山地学报, 2004, 22(2): 184-192. [Zhang B P, Tan Y, Mo S G. Digital spectrum and analysis of altitudinal belts in the Tianshan Mountains[J]. Journal of Mountain Science, 2004, 22(2): 184-192.]
- [19] 张百平, 周成虎, 陈述彭. 中国山地垂直带信息图谱的探讨[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 163-171. [Zhang B P, Zhou C H, Chen S P. The geo-info spectrum of montane altitudinal belts in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(2): 163-171.]
- [20] 张百平, 姚永慧, 莫申国, 等. 数字山地垂直带谱及其体系

- 的探索[J].山地学报,2002,2(6):660-665. [Zhang B P, Yao Y H, Mo S G, et al. Digital spectra of altitudinal belts and their hierarchical system[J]. Journal of Mountain Science, 2002,2(6):660-665.]
- [21] 赵英时等.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003. [Zhao Y S, et al. The principle and method of remote sensing application[M]. Beijing: Science Press, 2003.]
- [22] 刘俊峰,陈仁升,卿文武,等.基于TRMM降水数据的山区降水垂直分布特征[J].水科学进展,2011,22(4):447-454. [Liu J F, Chen R S, Qing W W, et al. Study on the vertical distribution of precipitation in mountainous regions using TRMM data[J]. Advances in Water Science, 2011, 22(4):447-454.]
- [23] 罗格平,戴丽,李艳忠,等.亚洲中部干旱区高山林线变化及其驱动机制研究展望[J].干旱区地理,2011,34(6):873-879. [Luo G P, Dai L, Li Y Z, et al. Prospects on alpine timberline change and its driving mechanism in arid area of Central Asia[J]. Arid Land Geography, 2011,34(6):873-879.]
- [24] 何毅,杨太保.博格达峰地区气候变化特征及其对冰川变化的影响[J].地理科学进展,2014,33(10):1387-1396. [He Y, He T B. Climate variation and glacier response in the Bogda region, Tianshan Mountains[J]. Progress in Geography, 2014,33(10):1387-1396.]
- [25] 李鑫.开都河集水盆地植被垂直带的季节和年际变化—基于Landsat遥感影像的NDVI分析[D].成都:四川师范大学,2017. [Li X. Seasonal and interannual variations of vegetation vertical belt within the Kaidu River Basin: NDVI analysis based on the remote sensing image[D]. Chengdu: Sichuan Normal University, 2017.]

刘春玲, 王永, 姚翔龙, 等. 天津滨海新区重点海岸带土地生态景观综合分析与评价[J]. 第四纪研究, 2018, 38(2):505-511.

Liu Chunling, Wang Yong, Yao Xianglong, et al. Comprehensive analysis and evaluation of land ecological landscape in the coastal area of Tianjin[J]. Quaternary Sciences, 2018, 38(2):505-511.

doi:10.11928/j.issn.1001-7410.2018.02.20

文章编号: 1001-7410(2018)02-505-07

天津滨海新区重点海岸带 土地生态景观综合分析与评价*

刘春玲¹, 王永², 姚翔龙³, 童立强¹, 祁生文³, 贺鹏¹

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;

3. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要: 土地生态景观分类是土地分类的深化, 土地生态景观分析能够更好地审视生态环境的现状和变化。文章以天津滨海新区重点海岸带为研究区域, 以高精度航空影像和 GF-2 卫星影像为数据源, 结合 Naveh 的景观分类系统完成了研究区的土地生态景观遥感调查。在遥感调查的基础上, 选取斑块面积(CA)、斑块数量(NP)、最大斑块所占景观面积比例(LPI)等 12 项景观格局指标对研究区的景观现状进行了综合分析, 发现: 1) 工业及居住景观呈团块式聚集, 农业景观和人工养殖景观破碎程度较高; 2) 研究区景观异质性明显, 景观格局类型稳定性差且景观格局分布具有明显的地域性; 3) 工业及沿岸浅海区规划较好, 然而荒漠景观分布面积较多且集中, 需要重点规划和治理。研究表明景观格局能够准确反映研究区景观的基本特征, 对研究区今后的生态环境改善、旅游景观分析以及土地资源利用和规划提供一定的参考价值和指导意义。

关键词: 天津滨海新区; 海岸带; 土地生态景观分类; 景观格局分析; 遥感

中图分类号: TP75

文献标识码: A

0 引言

近半个世纪以来, 中国海岸带土地资源在人类活动和气候变迁的影响下, 发生了剧烈的变迁, 海岸带已经成为人地关系研究和环境变化研究的关键地区^[1], 其土地资源有效、合理地利用及保护已经成为目前亟待解决的问题^[2]。如何科学地进行海岸带的土地资源分类与评价成为一个关键科学问题。19 世纪末期, 景观的概念被引入地理学, 渐渐成为了土地分类的深化方向^[3-4]。科学的土地景观分类始于 20 世纪 30 年代, 德、苏、英、美等国开展了较广泛土地和景观研究。20 世纪中叶, 人们意识到仅注重单一资源开发和管理产生了一系列严重的社会和生态后果。因此, 根据生态原则进行土地分类研究的新方法便孕育而生, 即生态土地分类, 而景观生态分类是土地分类的深化, 也是新兴景观生态研究的重要组成部分^[5]。景观生态学以综合整体的思想审视生态环境的现状和变化, 为我们更成功

解决所面临的海岸带土地资源的生态问题提供了新的理论和方法^[6]。

近年来, 土地生态景观的分类和分析方法在许多学者的研究下得到了极大的进步。其中, 许多学者也结合 3S 技术开展了海岸带土地生态景观的研究: 吴玉红和李克国^[7]使用景观格局的研究方法研究了北戴河区的土地利用的分布规律; 杜桂芳等^[8]通过 8 个景观指数研究了天津滨海新区的湿地景观格局 8 年的变迁; 吕建华等^[9]在 6 期 TM 影像解译的基础上, 研究了天津滨海新区的土地利用类型变迁。但是前人的研究多结合低分辨率的卫星数据, 并且对海岸带的土地景观分类的系统性也有待加强。本文在渤海重点海岸带生态地质环境遥感调查工作的基础上, 结合高清 GF-2 卫星影像数据, 对研究区的土地生态类型进行系统划分, 并对土地生态景观格局进行分析评价, 以便更好地认识、利用和管理各类景观, 达到人地共和持续发展的目的。

2017-12-05 收稿, 2018-01-26 收修改稿

* 中国地质调查局地质大调查项目“渤海重点海岸带生态地质遥感调查”项目(批准号: DD20160015003)资助

第一作者简介: 刘春玲, 女, 42 岁, 教授级高工, 主要从事遥感地质研究, E-mail: 20517415@qq.com

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

天津滨海新区地处华北平原北部、渤海湾中心地带,位于山东半岛与辽东半岛交汇点上,地理坐标为 $38^{\circ}12' \sim 39^{\circ}24'N$, $117^{\circ}18' \sim 119^{\circ}06'E$ (图 1)。紧紧依托北京、天津两大直辖市,拥有中国最大的人工港、最具潜力的消费市和最完善的城市配套设施,以工作区为中心,方圆 500 km 范围内还分布着 11 座 100 万人口以上的大城市。对外,工作区雄踞环渤海经济圈的核心位置,与日本和朝鲜半岛隔海相望,直接面向东北亚和迅速崛起的亚太经济圈,置身于世界经济整体之中,拥有无限的发展机遇。

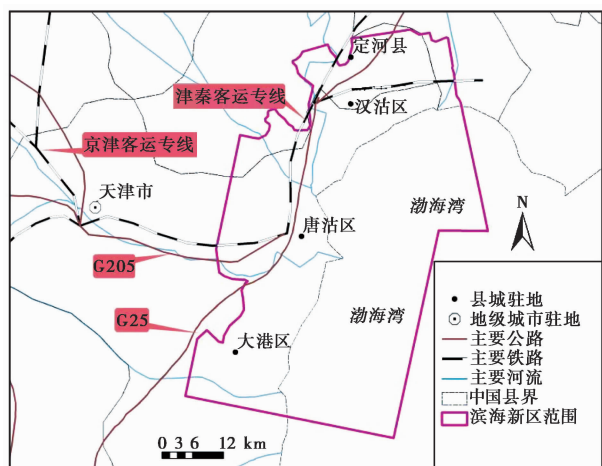


图 1 研究区交通位置及工作范围图

Fig. 1 Location of study area

1.2 数据源及其预处理

研究区数据源主要为 2016 年最新获取的航空 DOM (Digital Orthophoto Map) 影像数据 (数据来源于“渤海重点海岸带生态地质遥感调查”项目;影像分辨率 0.2 m)、GF-2 卫星影像数据 (数据来源于中国国土资源航空物探中心;影像分辨率 1 m)。海岸带地区潮位的高、低对土地生态景观的划分具有较大的影响,因此,为了保证解译成果的准确性,主要选用了接近平均高潮位、平均低潮位时相的航空 DOM 数据和 GF-2 卫星数据。GF-2 卫星主要选用了 2016 年的 1~2 月份的数据及 6~8 月份的数据,航空 (DOM) 数据主要是 2016 年 5~8 月份获取的数据。

2 土地生态景观的类型划分及研究方法

2.1 土地生态景观的分类划分

目前对生态景观类型的划分最为常见的是根据

人类对自然景观的干扰程度来进行。根据 Naveh 提出的景观分类系统,按照景观塑造过程中人类影响强度,将工作区景观分为自然景观、人工经营景观和人工其他景观 3 大类^[10]。本文结合工作区的土地利用现状特点,并进行归并,将研究区土地生态景观类型共分 3 个一级类,10 个二级类 (表 1)。

表 1 天津滨海新区重点海岸带土地生态景观类型分类表
Table 1 The classification of land ecological landscape type of the coastal zone of the coastal area of Tianjin

一级	二级	主要包括的土地利用类型
自然景观	陆地景观	沙滩、河流
	海岸带景观	沿海滩涂、砂质潮滩
	沿岸浅海景观	沿岸浅海
	荒漠景观	盐碱地、裸地、沙地
人工经营景观	农业用地景观	水田、水浇田、旱田、设施农用地、林地、果园
	盐田景观	采矿用地
	人工养殖景观	人工养殖的塘
人工其他景观	居住景观	城镇及居民点
	交通运输景观	铁路用地、公路用地、农村道路、机场用地、港口码头用地
	水库灌渠	水库及灌渠设施

2.2 研究方法

本次研究采用景观指数法和土地统计学方法来原因滨海新区景观格局的发展现状。由于滨海新区整体面积较大,对其整体的景观指数计算不能凸显其景观异质性及空间分异性。因此将滨海新区划分为 37 个大小相同的格网 (0~36) (表 2),格网大小 $10\text{ km} \times 10\text{ km}$,分别将格网栅格化。并利用 ArcGIS 转化单元大小为 $15\text{ m} \times 15\text{ m}$ 的 TIFF 格式栅格图像,并以此为后续计算依据。通过 Fragstats 的计算,获取能表达景观格局空间结构以及景观要素镶嵌结构的两类景观指数:斑块类型指数和景观类型指数 (表 3,表 2)。对于 37 个格网的景观指数,通过数据处理,利用 ArcGIS 地统计模块,对 37 个网格进行叠加分析,并进行克吕格插值,从而研究滨海新区景观空间格局分布特征。其中的统计学是通过数据的插值或者分析来描述和解释空间相关性。

3 景观指数选取及计算

景观指数是景观格局分析常用的指标,其描述的景观格局不但可以是空间数据获得一定的统计性质,而且可以针对不同空间尺度上的景观格局特征进行比较与分析,定量描述与检测景观空间结构随时间的变化^[11]。当前所能采用的各种景观格局指

表 2 景观水平格局分析数值表
Table 2 The number of the landscape-level index

格网 编号	NP (个)	PD (个/100 hm ²)	LPI (%)	LSI (%)	CONTAG (%)	AI (%)	SHDI	SHEI
0	4	0.27	63.19	2.48	57.21	99.33	0.90	0.82
1	19	0.37	58.13	2.58	63.93	99.56	1.12	0.70
2	23	0.35	79.94	4.01	81.19	99.07	0.55	0.34
3	1	0.05	100.00	1.56	0.00	99.81	0.00	0.00
4	366	4.44	30.78	7.45	64.20	98.06	1.28	0.66
5	154	1.54	44.67	3.59	68.92	99.35	1.07	0.60
6	313	5.89	42.83	5.59	72.30	98.48	1.19	0.52
7	3	1.09	64.30	2.38	59.07	99.01	0.56	0.80
8	64	7.47	31.65	7.30	65.15	94.28	0.99	0.55
9	520	7.18	34.45	9.81	56.09	97.17	1.67	0.80
10	92	0.92	68.22	3.92	84.87	99.22	0.54	0.28
11	43	0.56	37.48	5.00	62.14	98.94	1.15	0.72
12	46	1.18	53.19	4.24	75.76	99.00	0.90	0.46
13	1181	14.28	18.27	19.96	58.04	93.96	1.44	0.69
14	778	7.78	23.85	14.30	60.96	96.27	1.51	0.69
15	96	1.13	37.22	5.42	77.18	99.10	1.05	0.44
16	165	3.46	51.00	3.63	76.52	99.34	1.00	0.46
17	408	5.88	48.09	9.26	66.12	97.20	1.06	0.59
18	616	6.15	20.23	13.74	61.82	96.37	1.56	0.68
19	332	3.79	49.38	8.42	73.73	98.01	1.27	0.48
20	23	1.08	38.88	3.13	73.87	99.32	0.82	0.51
21	79	2.51	14.46	7.18	54.94	97.10	1.45	0.81
22	197	2.01	13.77	8.91	56.70	97.78	1.42	0.79
23	457	4.65	19.92	10.98	53.32	95.69	1.71	0.82
24	526	7.71	28.76	7.33	66.82	98.06	1.42	0.62
25	53	1.31	48.18	3.57	66.93	99.17	1.23	0.63
26	7	0.41	68.02	2.33	71.84	99.51	0.87	0.54
27	6	18.70	42.92	2.04	59.69	97.61	0.97	0.70
28	73	4.89	56.06	5.33	70.24	97.12	0.92	0.51
29	1273	20.46	10.52	18.27	57.07	93.67	1.38	0.71
30	904	9.03	34.97	12.41	63.70	96.73	1.24	0.64
31	858	8.57	33.29	12.21	64.57	96.82	1.39	0.63
32	69	2.11	38.99	6.36	61.44	97.57	1.45	0.70
33	403	10.35	10.66	11.31	55.38	95.31	1.35	0.75
34	287	6.28	16.45	10.16	65.09	96.21	1.16	0.60
35	203	3.56	54.16	5.54	78.04	98.32	0.61	0.38
36	24	2.32	80.12	3.91	76.12	97.64	0.72	0.40

表 3 2016 年滨海新区斑块类型格局分析数值表
Table 3 The number of the patch types index
of the coastal area of Tianjin in 2016

景观类型	斑块指数			
	CA (km ²)	NP (个)	LPI (%)	LSI (%)
陆地景观	126.26	407	1.23	31.93
农业景观	296.58	1106	2.60	38.48
居住景观	509.85	688	5.58	27.20
人工养殖景观	245.6	781	1.59	31.37
交通运输景观	176.6	4971	3.83	64.01
水库灌溉景观	64.85	1427	0.84	30.87
工业景观	399	107	5.61	10.47
荒漠景观	178.3	61	3.36	9.94
海岸带景观	16.03	11	0.32	5.34
沿岸浅海景观	82.64	11	1.49	4.37

数累计近百个,但有些指标的生态学意义并不明确,甚至相互矛盾^[12~13]。根据研究区特征,在斑块水平上选取斑块面积(CA)、斑块数量(NP)、最大斑块所占景观面积比例(LPI)、景观形状指数(LSI);在景观水平上选取斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、网格内最大斑块所占比例(LPI)以及景观形状指数(LSI)、蔓延度指数(CONTAG)、景观聚集度指数(AI)、香农均匀度指数(SHEI)、香农多样性指数(SHDI)等 12 项景观格局指标,从斑块类型和景观水平两个方面(表 3、表 2)来分析滨海新区景观格局的空间变化特征。

4 景观格局分析

4.1 滨海新区景观基本特征

斑块面积(CA)、斑块数量(NP)、斑块密度(PD)可以直观的表示滨海新区景观格局的基本特征^[3]。由表 3 可知,从斑块面积上看,居住景观面积最大,工业景观、农业景观以及人工养殖景观分布面积依次减小,4 类景观斑块总面积占工作区总面积的 69.24%,构成滨海新区景观格局的主体。居住景观主要位于塘沽区的中部和西部以及大港区的中部和南部。工业景观主要分布两处,分别为大港区的东部和汉沽区的东部,而且集中程度和斑块的完整性非常高。农业景观主要分布在汉沽区北部和塘沽区西部,散碎程度较高,反映出人为活动非常剧烈。人工养殖景观主要集中在塘沽区的西北部以及大港区的西南部,整体性一般,面积较小。其他 6 种景观在面积上所占比例较少,但在分布上特点极为突出。荒漠景观、海岸带景观、沿岸浅海景观以及部分交通运输景观主要分布在滨海一带,斑块整体性较高。陆地景观和交通运输景观全区均有分布,且呈现出线状分布,如图 2 所示。

从斑块数量(NP)、斑块密度(PD)来看,汉沽区西部、塘沽区西部的斑块数量和斑块密度较高,这些区域集中表现为农业景观和居住景观相互镶嵌的景观格局,在景观生态学中称为特定的组合或空间联接格局。具体表现为以耕地为基质,以居住用地为斑块,以河流、公路等为廊道的景观格局。说明汉沽区的大部分、塘沽区的西部斑块破碎明显,整体性较差,多样性显著。

4.2 最大斑块与形状指数分析

通过景观 LPI 和 LSI 指数不仅可以了解景观破碎度,还可以查明景观斑块的整体性以及不同网格

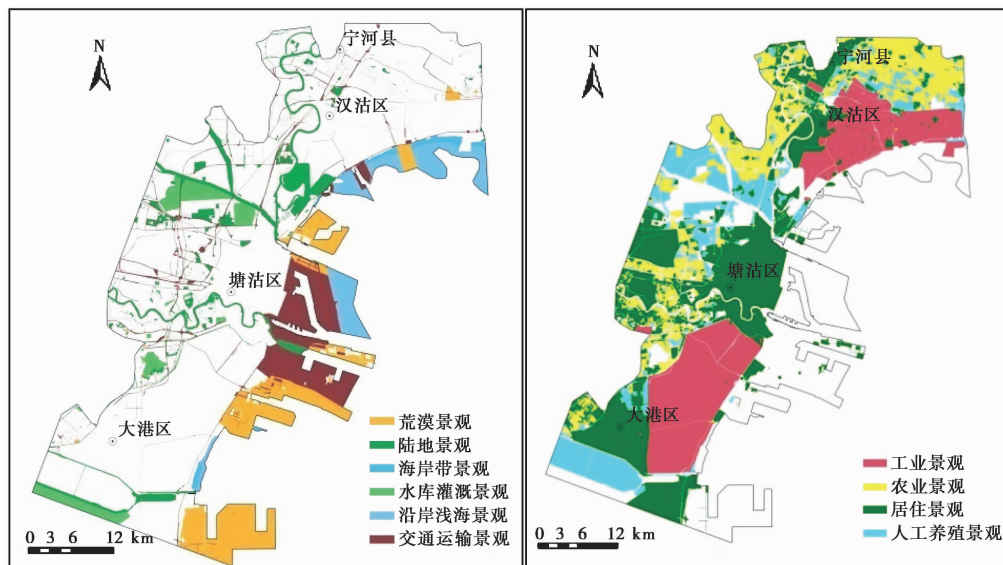


图 2 天津滨海新区土地生态景观分布图

Fig. 2 Map of land ecological landscape of the coastal area of Tianjin in 2016

景观的形状信息。

指数 LPI 反映的是某一景观类型中最大斑块所占景观面积比例,在一定程度上表示某一景观斑块的完整性^[3]。从斑块类型上来看,滨海新区的斑块中最大的是工业景观斑块,占有景观面积的 5.61%,其次是居住景观的斑块,占有景观面积的 5.58%(表 3),说明工业景观以及居住景观完整性较好,斑块呈现聚集分布,受人类工程活动严重干扰。其次交通运输景观、荒漠景观和农业景观 LPI 指数分别为 3.83、3.36 和 2.60(表 3),说明以耕地为主的农业景观、以沿岸分布的盐碱地为主的荒漠景观内部整体性较高,但破碎化依然存在。交通运输景观由于港口码头用地的原因, LPI 指数较高。其他景观类型的 LPI 指数较低,有两个原因:一是景观类型总面积较小,二是景观呈线状分布;从景观水平上来看,大港区的大部分区域、塘沽区的东部沿海、汉沽区的东南部以及宁河县的东部,斑块 LPI 指数均较高,说明这些区域斑块均较完整、破碎程度较低。集中表现为居住景观的群居性、采盐场的集中化、宁河县东部农业耕地的片区化以及沿岸浅海的受干扰程度较小的特点(图 3)。

指数 LSI 反映的就是网格内不同景观类型边缘耦合的特征^[14]。从斑块类型上来看(表 3),交通运输景观 LSI 值最大,为 64.01,说明交通运输景观离散程度明显,与实际相符。农业景观、陆地景观、人工养殖景观、水库灌溉景观以及居住景观 LSI 值域为 38.48 到 27.20,这些景观类型均有程度较高的离散,说明斑块破碎化较为突出,属于人类

活动影响较大的景观类型;从景观水平上来看(表 2),在塘沽区的西部和汉沽区的北部的 LSI 指数值较高,表明人类工程活动的频繁使得这些区域的斑块类型不断发生变化。而在东部沿岸浅海一带,由于人类筑岸修堤以及土地利用类型的归并使得土地斑块简单化,整体性和优势斑块不断突出,使得东部沿岸一带的 LSI 指数较低(图 3)。

4.3 景观聚集度与连通性指数分析

景观格局特征并不是耕地、居住、水库灌溉等景观类型的总和,它的基本特征是每个景观类型相互叠加以及在某种程度上的相互联系,蔓延度指数(CONTAG)是指景观空间里不同斑块类型的团聚程度和延展趋势^[3]。由表 2 和图 4 所示,研究区空间连通性整体不大,较高的地区主要分布在塘沽区东部以及大港区的东部沿海一带,最大值为 84.87。这些地区景观类型多样化不明显,多以居住景观、工业景观以及交通运输景观中的港口码头为主。在蔓延度指数较低的地方多为斑块数量多,斑块密度大的区域,比如塘沽区的西部以及汉沽区的西部等大块区域。

聚集度指数(AI)和景观类型的破碎度有关, AI 的值越小,破碎程度越高。由图 4 可知滨海新区沿岸一带的景观聚集指数均高于内陆一带,说明沿海一带的景观丰度较低。从整个滨海新区来看,聚集度和连通性从西到东,从内陆到沿海由小到大,具有明显的空间分布特征。表明海边地区的整体性、规划性较好,有利于产业的进一步发展。

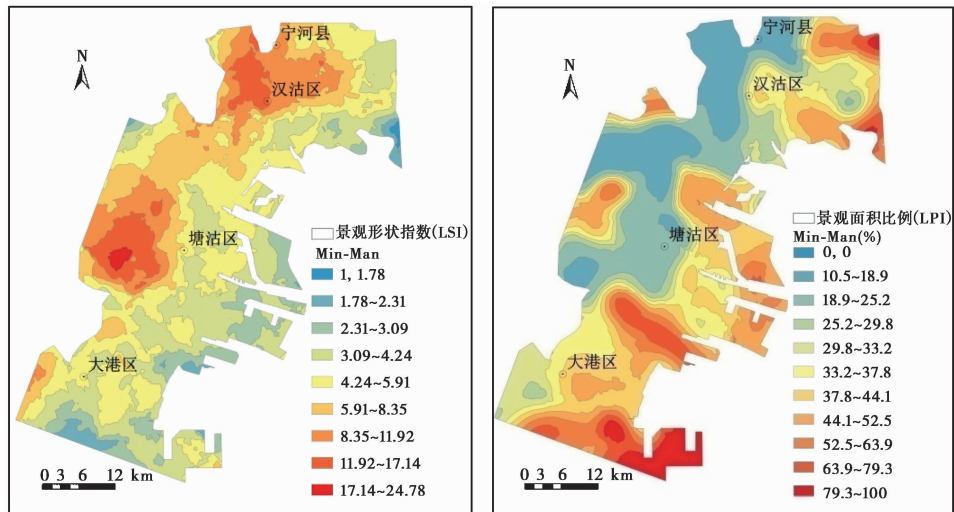


图 3 景观形状指数 (LSI) 和景观面积比例指数 (LPI) 分布图

Fig. 3 The distribution map of the Landscape Shape Index (LSI) and the Landscape Percentage Index (LPI)

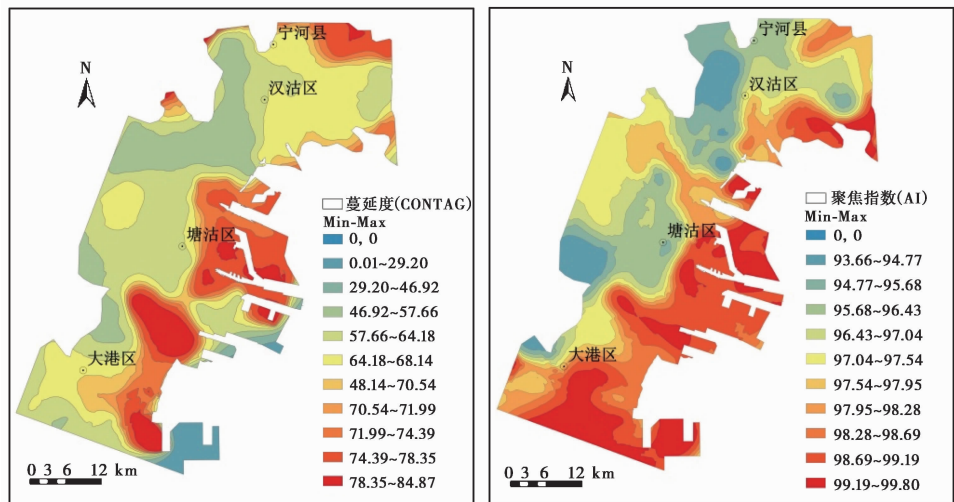


图 4 蔓延度 (CONTAG) 和聚集指数 (AI) 分布图

Fig. 4 The distribution map of the Contagion Index (CONTAG) and the Aggregation Index (AI)

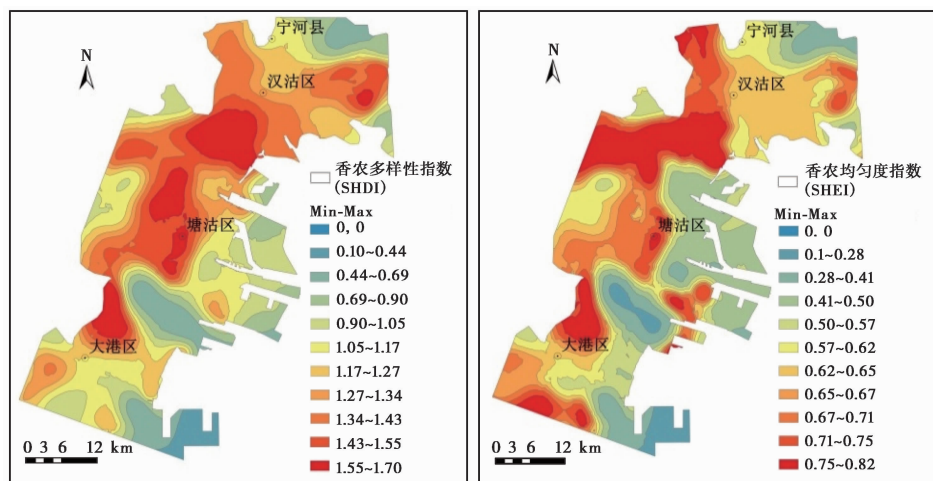


图 5 香农多样性指数 (SHDI) 和香农均匀度指数 (SHEI) 分布图

Fig. 5 The distribution map of the Shannon's Diversity Index (SHDI) and the Shannon's Evenness Index (SHEI)

4.4 景观多样性及均匀度分析

香农多样性指数 (SHDI) 能很好地反映景观的异质性, 土地利用越丰富, 破碎化越高, SHDI 指数越高^[3]。由表 2 所示, SHDI 最大值为 1.71, 平均值为 1.11, 表明研究区的土地利用较为丰富, 破碎化较高。这是由于大港区北部、塘沽区西部以及汉沽区西南部等大部分区域生态交错显著, 区域内不仅有道路、河流等廊道, 还有农业生境的破碎、居住斑块、坑塘水面以及林地斑块的相互嵌套等, 使得这部分土地利用的丰富程度较高、空间异质性明显, 香农多样性指数也就明显较高 (图 5)。

香农均匀度指数 (SHEI) 能反映某一网格的景观类型所有到的一种或几种优势景观类型, 当 SHEI 趋近于 1 时, 该网格景观类型优势度较低, 说明各景观类型均匀分布^[3]。由表 2 和图 5 所示, 塘沽区的北部及汉沽区的西部的 SHEI 较高, 其值位于 0.71 到 0.82 之间, 说明该地区各景观类型均匀分布, 优势景观不明显。塘沽区、大港区的东部以及沿岸一带 SHEI 值较低, 以海岸带景观、沿岸浅海景观为主的优势景观类型明显。

5 结论

(1) 研究区主要以农业、居住、工业以及人工养殖景观为主, 占研究区总面积的 69.24%, 而且上述景观类型分布空间异质性突出且所占面积较为接近, 一定程度上反映研究区经济发展动力多种多样。但从格局分布来看, 农业景观和人工养殖景观破碎度较为明显、斑块数量较大且散乱分布, 对农作物以及养殖业的产量、质量均造成一定的影响。工业以及居住景观聚集程度总体上较高, 呈团块式聚集发展, 斑块类型区域简单化, 有利于工业资源的产出及管理以及基本物资需求供给。但部分居住景观依赖农业用地类型分布, 分布较为分散使得景观破碎性加剧, 其他景观类型如交通运输景观的增加, 从而破坏景观的整体性。

(2) 研究区整体上景观多样性、景观破碎度取值较大, 说明研究区景观异质性明显、景观格局类型稳定性差。景观聚集指数较高且蔓延度指数较低, 说明研究区景观格局分布具有明显的地域性。

(3) 研究区聚集程度虽然较高, 但景观具有复杂的边缘特征, 通过 LSI 指数数值分析发现, 交通、农业、陆地以及居住景观等景观边缘特征较为复杂, 部分景观内部支离破碎, 影响景观整体性, 不

利于以后景观的持续建设。工业以及沿岸浅海景观等聚集程度很高, 景观内部破碎很低, 说明当地相关部门工业及沿岸浅海区规划较好。但荒漠景观在研究区面积较多, 分布较为集中, 应该引起当地相关部门的高度重视, 重点规划、治理。

本项目研究通过 Fragstats 软件结合 ArcGIS 进行研究区空间分析, 得到研究区景观格局的现状分布特征, 对研究区景观特征形成初步认识, 以期为研究区今后的生态环境改善、旅游景观分析以及土地资源利用和规划提供一定的参考价值和指导意义。

致谢: 感谢审稿专家建设性的修改意见。

参考文献 (References):

- [1] Zone L O I I, Kremer H H, Tissier M D A L, et al. Land-ocean interactions in the coastal zone: Science plan and implementation strategy [J]. Environmental Policy Collection, 2005, 20 (11): 1262-1268.
- [2] 王丽荣, 赵焕庭, 覃朝锋. 雷州半岛灯楼角热带海岸的景观生态分类 [J]. 海洋通报, 2004, (1): 50-57.
Wang Lirong, Zhao Huanting, Qin Chaofeng. Landscape ecological classification of tropical coast of Denglongjiao, Leizhou Peninsula in Guangdong Province [J]. Marine Science Bulletin, 2004, (1): 50-57.
- [3] 许慧, 王家骥. 景观生态学的理论与应用 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1993: 129-209.
Xu Hui, Wang Jiayi. Theory and Application of Landscape Ecology [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1993: 129-209.
- [4] 王根绪, 程国栋. 干旱内陆河流域景观生态的空间格局分析——以黑河流域中游地区为例 [J]. 兰州大学学报, 1999, (1): 215-221.
Wang Genxu, Cheng Guodong. The spatial pattern analysis of landscape in arid inland river basin—A case study of the middle reaches of Heihe River [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Science), 1999, (1): 215-221.
- [5] 李振鹏, 刘黎明, 张虹波, 等. 景观生态分类的研究现状及其发展趋势 [J]. 生态学杂志, 2004, (4): 150-156.
Li Zhenpeng, Liu Liming, Zhang Hongbo, et al. Current situation of landscape eco-classification and its development trend [J]. Chinese Journal of Ecology, 2004, (4): 150-156.
- [6] 周华荣. 新疆北疆地区景观生态类型分类初探——以新疆沙湾县为例 [J]. 生态学杂志, 1999, (4): 69-72+81.
Zhou Huarong. A preliminary study on landscape classification of the northern Xinjiang region: A case study of Shawan County [J]. Chinese Journal of Ecology, 1999, (4): 69-72+81.
- [7] 吴玉红, 李克国. 秦皇岛市北戴河区土地利用景观格局变化研究 [J]. 地理空间信息, 2018, (1): 91-93+106.
Wu Yuhong, Li Keguo. Research on land use landscape pattern change in Beidai River district, Qinhuangdao [J]. Geospatial Information, 2018, (1): 91-93+106.
- [8] 杜林芳, 冯仲科, 刘东云, 等. 天津滨海新区湿地景观格局变化研究 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38 (10): 5439-5442+5460.
Du Linfang, Feng Zhongke, Liu Dongyun, et al. Study on the

- changes of wetland landscape pattern in Tianjin Binhai new area [J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2010, 38 (10): 5439-5442+5460.
- [9] 吕建华, 朱坦, 白宏涛, 等. 天津滨海新区土地利用及景观格局变化分析[J]. *环境污染与防治*, 2011, 33(2): 94-98.
Lü Jianhua, Zhu Tan, Bai Hongtao, et al. Analysis of land use and landscape pattern changes in Binhai new area of Tianjin [J]. *Environmental Pollution and Prevention*, 2011, 33(2): 94-98.
- [10] 肖笃宁, 钟林生. 景观分类与评价的生态原则[J]. *应用生态学报*, 1998, (2): 217-221.
Xiao Duning, Zhong Linsheng. Ecological principles of landscape classification and assessment [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, (2): 217-221.
- [11] 林孟龙, 曹宇, 王鑫. 基于景观指数的景观格局分析方法的局限性: 以台湾宜兰利泽简湿地为例[J]. *应用生态学报*, 2008, (1): 139-143.
Lin Menglong, Cao Yu, Wang Xin. Limitations of landscape pattern analysis based on landscape indices: A case study of Lizejian wetland in Yilan of Taiwan Province, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, (1): 139-143.
- [12] 布仁仓, 胡远满, 常禹, 等. 景观指数之间的相关分析[J]. *生态学报*, 2005, (10): 2764-2775.
Bu Rencang, Hu Yuanman, Chang Yu, et al. A correlation analysis on landscape metrics [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, (10): 2764-2775.
- [13] 彭建, 王仰麟, 张源, 等. 土地利用分类对景观格局指数的影响[J]. *地理学报*, 2006, (2): 157-168.
Peng Jian, Wang Yanglin, Zhang Yuan, et al. Research on the influence of land use classification on landscape metrics [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, (2): 157-168.
- [14] 刘飞, 谢双喜, 谢鹏, 等. 贵州习水县土地利用景观格局特征分析[J]. *天津农业科学*, 2015, 21(12): 84-88.
Liu Fei, Xie Shuangxi, Xie Peng, et al. Analysis on the characteristics of landscape pattern of land use in Xishui County of Guizhou Province [J]. *Tianjin Agricultural Science*, 2015, 21 (12): 84-88.

COMPREHENSIVE ANALYSIS AND EVALUATION OF LAND ECOLOGICAL LANDSCAPE IN THE COASTAL AREA OF TIANJIN

Liu Chunling¹, Wang Yong², Yao Xianglong³, Tong Liqiang¹, Qi Shengwen³, He Peng¹

(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083; 2. China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083; 3. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract

Analysis of the land ecological landscape can better examine the current situation and changes of ecological environment. The research area is located in the coastal area of Tianjin, from 38°12'N to 39° 24' N and from 117°18'E to 119°06'E. The research date are the GF-2 satellite image data which were got from January to February and June to August of 2016 and the aerial image data were mainly obtained from May to August of 2016. The resolution of the satellite image is 1 m, and the resolution of the aerial image is 0.2 m. This paper completes the remote sensing survey of the land ecological landscape by combining Naveh's landscape classification system and divides the landscape into three primary classifications, which include Natural Landscape, Artificial Landscape and Other Artificial Landscape. Then combined the land use types, this paper detailly divide the first classifications into ten secondary classifications. Using ArcGIS and Fragstats software, 37 meshes are divided with the size 10 km×10 km in the research area, and 12 landscape pattern indexes, such as Patch Area(CA), Patch Number(NP) and Landscape Percentage Index(LPI), are selected to comprehensively analyze the landscape current situation of the study area. Then with the size of raster 15 m×15 m, this paper use the Kriging interpolation to calculate the contour map of landscape pattern indexes. After analyzing this data, the results show that: (1) Industrial and residential landscapes are agglomerated, and the landscape of agricultural landscape and artificial farming are fragmented; (2) The landscape heterogeneity is obvious in the study area, and the stability of landscape pattern type was poor and the landscape pattern distribution was obviously regional; (3) The planning of industrial and coastal shallow coastal areas is better. However, the desert landscape has a large area of distribution and concentration, which needs to be focused on planning and management. The research shows that the landscape pattern analysis can accurately reflect the basic characteristics of the landscape in the study area and provide some reference value and guiding significance for the improvement of the ecological environment, the analysis of the tourism landscape and the utilization and planning of land resources in the future.

Key words: the coastal area of Tianjin; the coastal zone; classification of land ecological landscape; landscape pattern analysis; remote sensing

doi: 10.6046/gtzyyg.2018.01.16

引用格式: 王海庆,武明德,刘琼,等.山西某地矿业开发占用土地状况遥感监测[J].国土资源遥感,2018,30(1):116-120.
(Wang H Q, Wu M D, Liu Q, et al. Remote sensing monitoring of mining land in a certain area of Shanxi Province [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2018, 30(1): 116-120.)

山西某地矿业开发占用土地状况遥感监测

王海庆¹, 武明德², 刘琼¹, 李光昭³, 王昊¹, 李丽¹

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 青海省环境地质勘查局, 西宁 810007;

3. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 利用山西某地 2008 年获取的 SPOT 和 2014 年获取的 QuickBird 2 期遥感数据, 采用人机交互解译方法, 在 ArcGIS 平台上分别圈定矿业用地和非矿业用地, 监测矿业开发占用土地状况, 并分析其变化情况。结果表明, 在 2008—2014 年间, 矿业用地占研究区总面积的比例约增加了 35%, 增长迅速; 开采方式的转变是造成矿业用地大幅度增加的主要原因; 增加的矿业用地主要占用了林地和耕地。上述遥感监测成果可为该地区矿业用地监管部门提供监管依据。

关键词: 矿业开发; 占用土地; 遥感

中图法分类号: TP 79; P 627 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2018)01-0116-05

0 引言

矿业开发是社会经济发展的重要支撑, 但矿业开发, 尤其是固体矿产的露天开采, 势必占用和破坏大量的土地资源, 对当地的生态景观和生存环境造成严重影响。因此, 及时对矿业开发占用土地状况进行调查和动态监测十分重要。遥感技术为人类提供了一种从宏观视角观察自身生存环境的方式, 使用遥感技术开展矿业开发占用土地状况的调查和研究, 能够更好地发挥其客观性、及时性和宏观性等优势, 为相关部门提供真实的研究数据。

在矿业用地监管方面, 国内学者对矿业用地的盘活、再利用以及制度建设方面的关注较多^[1-4], 近年来, 利用遥感技术开展矿业用地调查监测的成果也有了广泛报道。杨显华等^[5]利用 2006—2010 年间获取的卫星遥感数据, 研究了川西南矿集区主要矿山占地现状和变迁; 何亮柱等^[6]利用 2009 年获取的 IKONOS 卫星数据, 提取了甘肃省白银铜矿区矿山开发占地信息; 王耿明等^[7]利用 2014 年度土地变更遥感数据, 开展了广东省矿山开发占地情况遥感监测及综合研究; 张永杰等^[8]利用 2013 年获取的 QuickBird 卫星遥感数据, 调查了宁夏回族自治区石炭井矿区的矿山开发占地情况; 强建华等^[9]

利用 2011—2014 年遥感数据, 调查了新疆矿业活动占地情况; 蒋劲等^[10]利用 2014 年度土地变更遥感数据, 开展了山西省矿山占地遥感监测; 高俊华等^[11]利用 2010—2015 年遥感数据, 开展了洞庭湖周边地区砖瓦用粘土矿占用损毁土地情况。这些研究都有详实的数据支撑, 能够为相关研究提供良好的借鉴, 但若能以单个矿山或矿山的部分区域为研究对象, 利用 2 期遥感数据开展矿业开发占用土地状况的监测, 则可以对比分析矿业用地的变化情况, 研究矿业用地变化的原因, 能够更好的为矿业用地监管部门服务。鉴于上述情况, 本文聚焦于山西某地矿业开发区, 利用 2 期遥感数据开展矿业开发占用土地状况监测, 并分析矿业用地的变化情况; 利用 ArcGIS 软件, 采用人机交互解译方法分别圈定出矿业用地和非矿业用地, 分析矿业用地迅速增长的现状和原因, 为矿业用地监管部门提供重要依据。

1 研究区概况及数据源

本文选择山西省某矿业开采集中区为研究区。研究区位于吕梁市的东南部, 面积 9.3 km²。区内主要呈低山丘陵地貌, 村村通公路, 交通条件较好。在土地利用方面, 除矿业用地以外, 还有林地、耕地和建设用地等, 其中林地面积最大。

收稿日期: 2016-06-24; 修订日期: 2016-07-14

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“全国矿产资源开发环境遥感监测”(编号: 121201203000160009)资助。

第一作者: 王海庆(1980-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事遥感地质应用方面的研究。Email: whq0705@126.com。

研究区内开采的矿产资源主要为煤矿,其次为砖瓦用粘土。早年间煤矿的开采方式大多为地下开采,近年来露天开采不断。随着煤矿开采方式的改变,矿业用地大幅度增加,损毁了大量的林地和耕地,不仅破坏了地貌景观,还剥夺了当地居民赖以生存的农田,增加了社会不稳定因素,故在此区域开展

矿业开发占用土地状况的遥感监测具有紧迫性和重要性。

分别选取 2008 年 5 月 31 日获取的 SPOT 卫星遥感数据和 2014 年 6 月 10 日获取的 QuickBird 卫星遥感数据作为基础遥感数据。对其分别进行了多光谱与全色波段的融合,融合结果如图 1 所示。

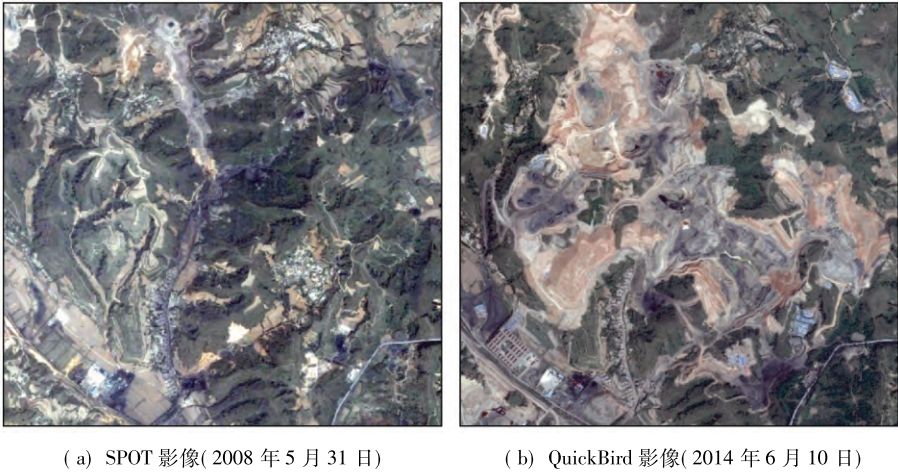


图 1 研究区遥感影像

Fig.1 Remote sensing images of study area

融合后影像的基本信息见表 1。

表 1 融合后遥感数据基本信息

Tab.1 Basic information of remote sensing data

获取日期	卫星	分辨率/m	波段数	本文波段组合
20080531	SPOT	2.50	3	B4(R) ,B1(G) ,B2(B)
20140610	QuickBird	0.61	3	B3(R) ,B2(G) ,B1(B)

2 遥感识别标志

2.1 矿业用地

矿业用地具有其独特的影像特征,在高空间分辨率遥感影像中易于识别。根据研究区的实际情况,矿业用地可分为采场、矿山建筑、中转场地和固体废弃物,其遥感识别标志见图 2 和表 2。

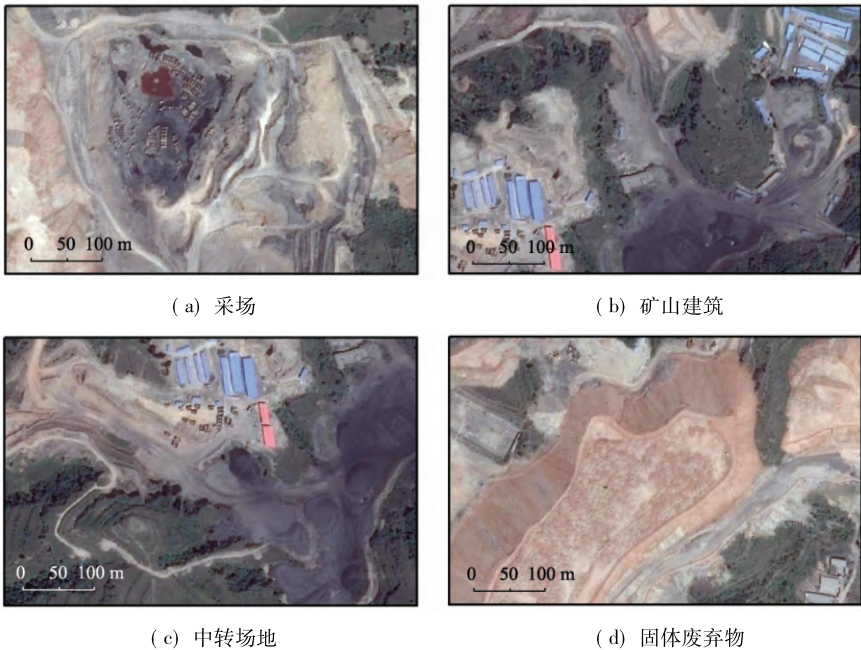


图 2 矿业用地遥感识别标志

Fig.2 Remote sensing identification keys of mining lands

表 2 矿业用地遥感识别标志描述
Tab.2 Description of remote sensing identification keys of mining lands

用地类型	色调	形状	附着地物	地形
采场	土黄色、黑色等, 根据矿种不同会有所变化	不规则, 受矿体延伸情况控制	可能有车辆或机械	人工开挖的负地形
矿山建筑	蓝色、红色、灰色等	矩形或矩形组合	附近可能有车辆	—
中转场地	黑色、土黄色等, 根据用途不同会有所变化	不规则, 根据用途不同会有所变化	转运场地有车辆; 选矿场有机械; 矿石堆可能有车辆或机械	—
固体废弃物	土黄色、灰黑色等, 根据物质不同会有所变化	不规则, 受堆积场所和堆积方式控制	可能有车辆; 机械	人工堆积的正地形

2.2 非矿业用地

根据研究区的实际情况, 非矿业用地主要有居民地、耕地、林地以及主干道路。由于这些地物很常见, 很容易在遥感影像中识别, 文中不再赘述。

3 调查结果

利用 ArcGIS 软件, 基于上文识别标志进行人机交互解译, 在 2 期遥感影像中分别圈定出矿业用地和非矿业用地, 并通过野外调查验证进一步修改、完善室内研究结果, 形成矿业开发占用土地状况的遥

感调查成果。

利用 2008 年 5 月 31 日获取的 SPOT 卫星遥感影像, 共圈定出矿业用地(含采场、矿山建筑、中转场地和固体废弃物) 1.04 km², 非矿业用地(含居民地、林地、耕地和主干道路) 8.26 km²。其中矿业用地约占研究区总面积的 11.23%(表 3 和图 3(a))。

利用 2014 年 6 月 10 日获取的 QuickBird 卫星遥感影像, 共圈定出矿业用地约 4.31 km², 非矿业用地约 4.99 km²。其中矿业用地约占研究区总面积的 46.39%(表 3 和图 3(b))。

表 3 研究区各类用地面积统计
Tab.3 List for land area in study area

用地类型	2008 年面积/m ²	2008 年占比/%	2014 年面积/m ²	2014 年占比/%	增加面积/m ²
矿业用地	采场	458 392	4.93	2 707 375	29.11
	矿山建筑	39 408	0.42	192 245	2.07
	中转场地	478 927	5.15	871 749	9.37
	固体废弃物	67 537	0.73	543 409	5.84
	小计	1 044 264	11.23	4 314 778	46.39
非矿业用地	居民地	486 504	5.23	390 875	4.21
	耕地	2 089 797	22.47	561 994	6.04
	林地	5 620 580	60.44	3 973 542	42.73
	主干道路	58 860	0.63	58 816	0.63
	小计	8 255 741	88.77	4 985 227	53.61
合计	9 300 005	100.00	9 300 005	100.00	

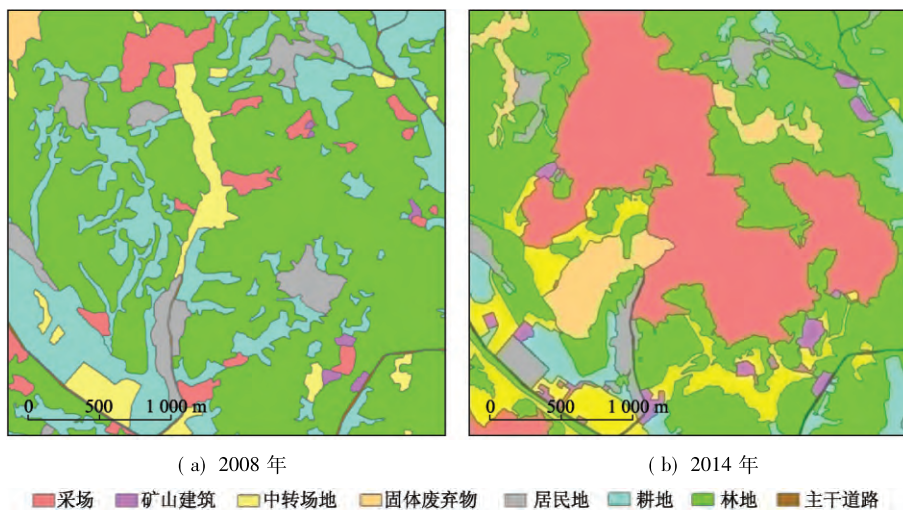


图 3 矿业用地状况遥感调查结果

Fig.3 Results of remote sensing survey for mining land

4 矿业用地变化分析

由表3可知,2008年5月31日—2014年6月10日,研究区内矿业开发占用土地从1.04 km²增加至4.31 km²,增加了3.27 km²(图4),矿业用地占研究区总面积的比例约增加了35%。

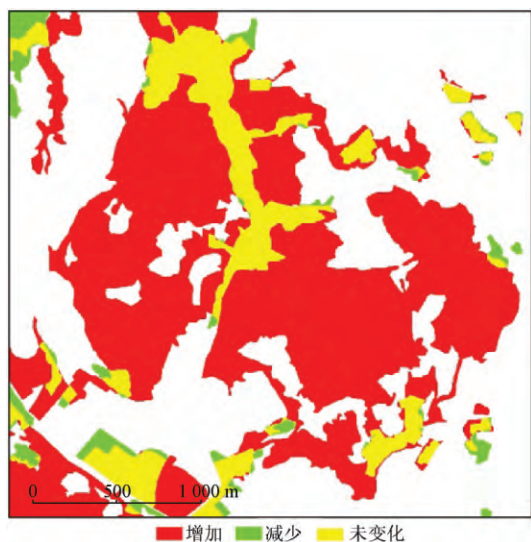


图4 矿业用地变化

Fig. 4 Changes of mining land

矿业用地中,采场面积增加了2.25 km²,约占矿业用地增加总面积的69%;矿山建筑面积增加了0.15 km²,约占矿业用地增加总面积的5%;中转场地面积增加了0.39 km²,约占矿业用地增加总面积的12%;固体废弃物面积增加了0.48 km²,约占矿业用地增加总面积的14%(图5)。

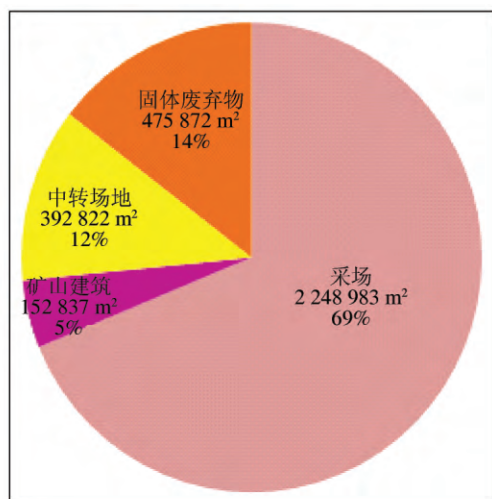


图5 增加的矿业用地

Fig. 5 Increased mining land

结合遥感影像分析,2008年研究区内的矿产资源以地下开采为主,占用的土地数量较少;而2014年以露天开采为主,占用土地较多。可见,开采方式

的转变是造成矿业用地大幅度增加的主要原因。在矿业用地类型上,采场增加的用地面积最大,也证实了这个结论。

同时,研究区内的非矿业用地减少了3.27 km²。其中,居民地面积减少了0.10 km²,约占非矿业用地减少总面积的3%;耕地面积减少了1.53 km²,约占非矿业用地减少总面积的47%;林地面积减少了1.65 km²,约占非矿业用地减少总面积的50%。由此可见,矿业用地的增加主要是占用了林地和耕地,同时也占用了一些居民地,造成部分村庄搬迁。

5 结论

1) 遥感监测结果表明,从2008年5月31日—2014年6月10日期间,研究区内矿业开发占用土地增加了3.27 km²,矿业用地占研究区总面积的比例约增加了35%,矿业用地增长迅速。

2) 开采方式的转变是造成矿业用地大幅度增加的主要原因。研究区内2008年以地下开采为主,到2014年转为以露天开采为主,导致2014年矿业用地大幅度增加。

3) 矿业用地的增加主要是占用了林地和耕地,同时也占用了一些居民地,造成部分村庄搬迁。

另外,本文尚有一些不足之处。本文以露天开采矿山为调查对象,各项数据基于地表覆盖物的明显变化得出,对于地下开采矿山形成的地下采空区及地表塌陷破坏土地状况的研究尚未涉及,有待今后进一步调查。

志谢: 本文研究和野外调查过程中得到了杨金中、聂洪峰、周英杰、李勇志等同仁的帮助,在此表示衷心的感谢!

参考文献 (References):

- [1] 来欣捧. 矿山建设节约集约用地技术研究[J]. 金属矿山, 2015(2): 155-159.
Lai X P. Study on the economical and intensive land use technology for mine construction[J]. Metal Mine, 2015(2): 155-159.
- [2] 郑娟尔,袁国华,章岳峰. 矿业用地制度: 问题与对策[J]. 国土资源科技管理, 2015, 32(6): 76-83.
Zheng J E, Yuan G H, Zhang Y F. Mining land: Problems and solutions[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2015, 32(6): 76-83.
- [3] 杨慧丽,付梅臣. 法规视角下矿业用地盘活模式的归纳与设计[J]. 中国矿业, 2016, 25(3): 21-24.
Yang H L, Fu M C. Design and induction for patterns of revitalizing mine land from the view of law[J]. China Mining Magazine, 2016, 25(3): 21-24.

- [4] 刘慧芳,刘友兆,毕如田,等. 基于用地竞争的矿业废弃地再利用用地类型判定[J]. 农业工程学报,2016,32(10):258-266.
Liu H F, Liu Y Z, Bi R T, et al. Reuse type judgment of mining wasteland based on land use competitiveness [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(10): 258-266.
- [5] 杨显华,黄洁,田立,等. 应用遥感方法研究四川主要矿山占地现状和变迁[J]. 四川地质学报,2012,32(4):482-486.
Yang X H, Huang J, Tian L, et al. The application of remote sensing technique to the study of present situation and changes of land occupied by main mines in Sichuan [J]. Acta Geologica Sichuan, 2012, 32(4): 482-486.
- [6] 何亮柱,洪金益,张建国,等. 基于 IKONOS 数据的矿山开发占地信息提取[J]. 国土资源遥感,2013, 25(1): 150-154. doi: 10.6046/gtzyyg. 2013. 01. 26.
He L Z, Hong J Y, Zhang J G, et al. Research on extraction of land information used by mining development based on IKONOS remote sensing data [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(1): 150-154. doi: 10.6046/gtzyyg. 2013. 01. 26.
- [7] 王耿明,朱俊凤,武国忠,等. 广东省矿山开采占地情况遥感监测与综合研究[J]. 华南地质与矿产,2015,31(4):406-413.
Wang G M, Zhu J F, Wu G Z, et al. The remote sensing surveillance and composite research of mine exploitation inappropriate soil in Guangdong Province [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2015, 31(4): 406-413.
- [8] 张永杰,韩芬,杨阳,等. 基于 QuickBird 影像的石炭井矿区矿山开发占地调查[J]. 宁夏工程技术,2015,14(4):331-333.
Zhang Y J, Han F, Yang Y, et al. QuickBird image based investigation on land occupation of exploitation mining in Shitanjing mine area [J]. Ningxia Engineering Technology, 2015, 14(4): 331-333.

Remote sensing monitoring of mining land in a certain area of Shanxi Province

WANG Haiqing¹, WU Mingde², LIU Qiong¹, LI Guangzhao³, WANG Hao¹, LI Li¹

(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China; 2. Qinghai Bureau of Environmental Geology and Exploration, Xining 810007, China; 3. School of the Earth and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: The remote sensing images which were obtained respectively in 2008 and 2014 were used in a certain area of Shanxi Province. By using ArcGIS software, human and computer interaction interpretation method was used to delineate the mining land and non-mining land respectively. The monitoring results show that, from 2008 to 2014, the proportion of mining land in the study area increased by about 35%, and the mining lands grew rapidly. The change of mining manner was the main reason for the increase of mining land. The increase of mining land was mainly attributed to the occupation of the forest land and cultivated land.

Keywords: mining; occupied land; remote sensing

(责任编辑: 张 仙)

海南岛东部滨海砂矿开发状况遥感监测与生态恢复治理对策研究¹

赵玉灵¹, 杨金中¹, 殷亚秋¹, 赵航², 何金宝², 张汉³

(1、中国国土资源航空物探遥感中心, 北京, 100083

2、中国地质大学, 地球科学与资源学院 (北京), 北京, 100083)

3、中国地质大学, 土地科学技术学院 (北京), 北京, 100083)

摘要: 随着“绿水青山就是金山银山”理念的普及, 矿山环境修复已经成为国家生态文明建设的重要内容。海南岛东部滨海区是海南省最具潜力的锆钛砂矿开采区, 长期的采矿活动破坏了海南岛东部海滨砂矿区原有的生态环境, 导致区域生态环境更为恶化, 亟待恢复。我们利用高分辨率遥感数据开展了 2016 年-2017 年区域砂矿开发占损土地及矿山环境恢复治理状况监测, 遥感监测结果表明, 2016-2017 年间海南岛东部海滨砂矿矿山开发占损土地面积有所增加, 增加了 182.91hm², 开采面数量增加了 24 个, 存在规模减小并分散化的趋势; 海滨砂矿矿山环境恢复治理总面积有一定增长, 矿山环境状况呈现局部好转的趋势。通过年际对比分析, 提出了海滨砂矿废弃地的生态修复建议, 因地制宜地以木麻黄为当家树种, 以青梅、相思树、湿地松等为辅助树种来重建/重现矿区森林生态系统; 或种植西瓜、番薯、花生等农作物进行典型区域修复试验; 或改建成海水养殖场等。

关键词: 滨海砂矿, 开发状况, 生态恢复治理, 遥感监测

0 引言

滨海砂矿床的形成受地貌、构造、水动力、沉积环境、矿质补给等多种因素控制^[1,2,3]。我国沿海岸线上, 出露有大量变质岩和中生代花岗岩, 蕴藏着丰富的砂矿物质, 在适宜的地貌环境和良好的水动力搬运堆积条件下, 常形成了丰富的砂矿床, 成矿时代主要为全新世。在其中的侵蚀型海岸上, 因构造比较稳定, 第四纪以来上升为主, 多形成基岩港湾式砂质海岸; 沿海港湾的顶部、岛屿的后部、河口、沙嘴、砂坝、连岛坝、水下浅滩等部位, 多是重砂矿物储集的场所。海南岛东部滨海区就是这样的区域, 这里已成为海南省最具潜力的矿产资源勘探开采区之一^[4]。但长期的采矿活动破坏了海南岛东部海滨砂矿区原有的生态环境, 导致区域生态环境更为恶化, 亟待恢复。

按照自然资源部的统一部署, 我们利用高分辨率遥感数据开展了 2016 年-2017 年区域砂矿开发占损土地及矿山环境恢复治理状况监测, 初步查明了近年来海南岛东部滨海区的矿山环境现状及年度变化情况; 并对区域矿山环境恢复治理情况进行了调查, 提出了区域生态修复治理建议, 希冀可以抛砖引玉, 促进区域生态系统向良性循环方向发展。

1 研究区概况

海南岛东部滨海海区, 南起陵水湾北侧的陵水角, 北至文昌市的木兰头, 主要位于文昌市、琼海市和万宁市 3 个县级市。区内海岸类型多样, 沿岸广泛发育有不同时期的岩浆岩, 有花岗岩、玄武岩等, 它们富含锆英石、钛铁矿、金红石和独居石等副矿物。本区地处热带和亚热带, 沿岸高温多雨, 潮湿炎热, 在高温和海水共同作用下, 岩石基岩易风化, 形成大

收稿日期: 2018-08-29; 修订日期:

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“全国矿产资源开发环境遥感监测”(编号:

121201003000172705)、中国地质调查局地质调查项目“全国 2017 年新增的矿山恢复治理状况监测”(编号 121201003000172718)和国土资源部航空地球物理与遥感地质重点实验室青年创新基金“结合正则化最小二乘的高空间分辨率四波段遥感数据云检测研究”(编号: 2016YFL09)共同资助。

第一作者: 赵玉灵(1971-), 女, 博士, 教授级高级工程师。主要从事遥感地质、生态环境遥感调查、矿山开发环境遥感调查等方面的工作。Email: 1398991855@qq.com。

面积的含锆英石、钛铁矿风化壳，经破坏冲刷和地表水的搬运作用，在潮间带和浅海区沉积下来^[4]。

海南省滨海砂矿具有出露地表、易开采、矿种多、品位高、储量大、质量好、分布集中等优点，锆、钛等砂矿储量居全国第一^[3]。全区共有大型滨海砂矿资源 10 个、中型 25 个、小型 37 个，矿点 57 个，其成因类型为海积、冲积、风积、残坡积^[4-5]。基本上呈带状与现代海岸线平行展布，锆、钛砂矿层产于第四系全新统烟墩组（Qh_{3y}）灰黄-灰绿色粉细砂层中，属滨、浅海相沉积，韵律层特征明显，机械沉积作用清晰。

2 海滨砂矿开发状况遥感监测

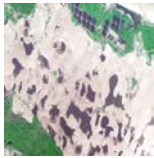
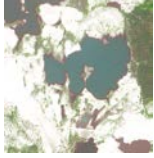
2.1 数据源及信息提取

本次监测使用的遥感影像主要为 2016 年、2017 年的海南岛土地变更调查遥感数据；土地变更调查遥感数据空间分辨率低于 2.5m 的区域，使用当年的高分一号、高分二号、资源三号等国产高分辨率数据进行了补充和替换。因此，本次监测使用的遥感数据的空间分辨率优于 2.5m。

首先建立专题信息提取标志（表 1），然后利用 ARCGIS 软件平台，通过人机交互解译的方式，在 2 期影像上对滨海砂矿开采信息和恢复治理信息进行了提取^[6]（图 1），解译成果的成图和统计分析均在 ARCGIS 软件平台上完成。通过 2016 年、2017 年 2 期遥感影像、遥感解译的砂矿开发状况矢量数据的对比，判定生产矿山和废弃矿山；对生产矿山，参照 2016 年、2017 年的海南省采矿权和探矿权矢量数据，依据其是否在采矿权、探矿权所划定的范围内来判别其是否违法，进而圈定在建/生产矿山、疑似违法矿山。信息提取的最小图斑面积为图上面积 4mm²。

表 1 锆钛砂矿解译标志

Tab.1 Interpretation marks of littoral placers at the eastern land of Hainan

分类	空间分布	影像特点（以“二调”遥感影像为准）	典型遥感影像
锆钛砂矿开采面	多分布于滨海平原地区，地势平整，无高低起伏地区。	影像上呈不规则形状，亮白色。色彩鲜亮，色调饱和。无植被覆盖，开采面多处于地势平整地带，周围可见积水的坑塘。	
		影像上呈不规则形状，亮白色，开采面附近风化严重，无植被覆盖，可见有道路穿行其中。	
		可见采场呈现灰白色，色调浅，饱和度较高，亮度较高，纹理特征不明显但有较明显的颗粒感，与周围地物特征明显不同，采场周围可见小型的挖掘设施。	
废弃的锆钛砂矿	分布于地势平坦，高程变化较小地区。有原来开采面的痕迹。	图像上开采过的部分呈现高亮度，亮白色，可见有较深的大范围积水，水体呈蓝色，已进行恢复治理的地方可见整齐排列种有绿色植被，实地踏勘为人工种植的木麻黄。	
锆钛砂矿中转场地	多分布与地势平坦的海岸平原地带，位于采场旁。	影像上呈规则的矩形，平行排列，灰白色，亮度低于锆钛砂开采面的亮度，地势平坦，无植被覆盖。	

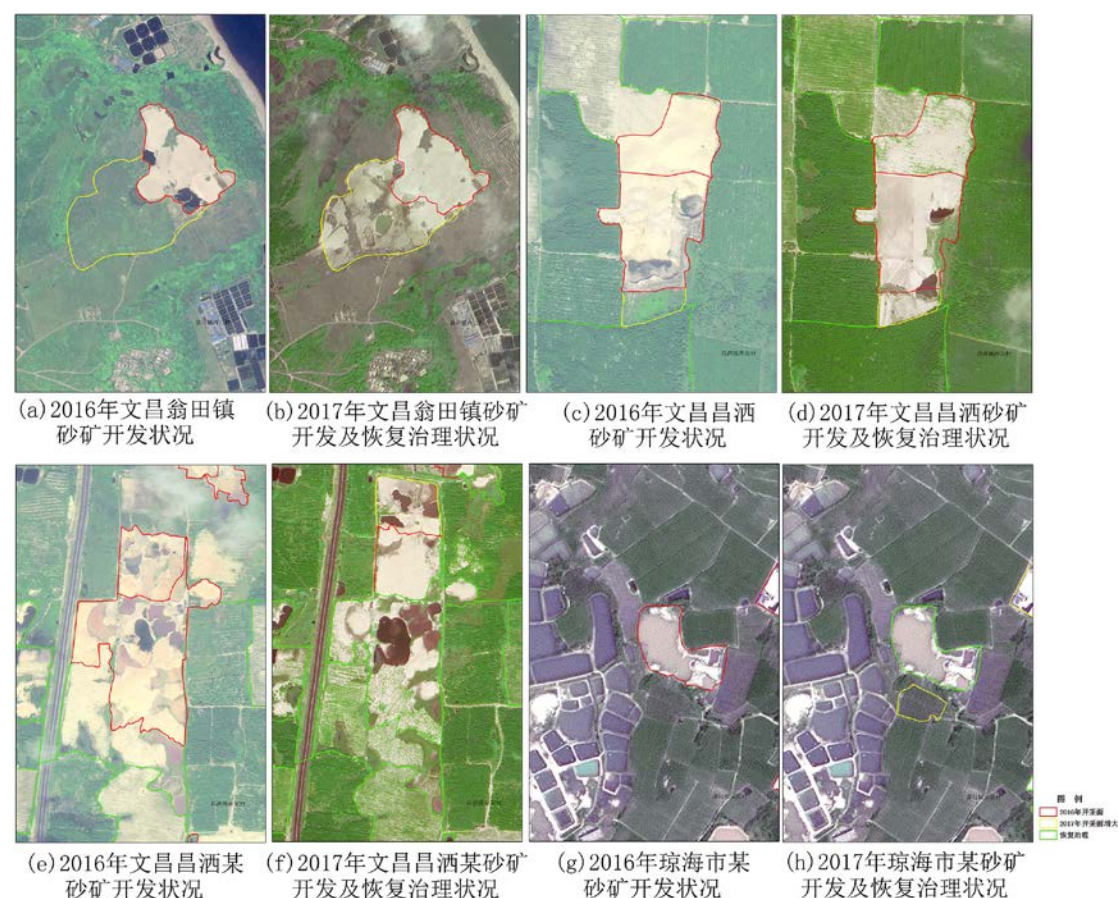


图 1 2016 年-2017 年滨海砂矿的开采状况遥感调查

Fig.1 Mining status remote sensing investigation of littoral placers during 2016 to 2017

2.2 滨海砂矿的开发状况

2016 年、2017 年区域砂矿开发数量及占损土地情况如表 2 所示。

表 2 海南岛东部陆域滨海砂矿 2016-2017 年开采状况统计表

Tab.2 Mining status statistics of littoral placers at the eastern land of Hainan during 2016 to 2017

行政 区	监测 时间	在建/生产矿山		疑似违法矿山		废弃矿山		矿山 总数量	矿山占损土 地面积
		数量	面积	数量	面积	数量	面积		
文昌市	2016 年	29	628.62	6	119.22	39	451.01	74	1198.85
	2017 年	44	773.3	15	157.45	34	350.33	93	1281.08
琼海市	2016 年	-	-	-	-	5	6.39	5	6.39
	2017 年	-	-	-	-	1	1.83	1	1.83
万宁市	2016 年	1	25.67			3	64.03	4	89.7
	2017 年	1	25.67			1	15.74	2	41.41
合计	2016 年	30	654.29	6	119.22	47	521.43	83	1294.94
	2017 年	45	798.97	15	157.45	36	367.89	96	1324.31

海南岛东部 2016 年滨海砂矿矿山占地总面积为 1294.94hm²，正在开采的面积有 773.51hm²，其中合法开采面积 654.29 hm²，疑似违法开采面积 119.22 hm²；废弃矿山面积为 521.43 hm²。海南岛东部 2017 年滨海砂矿矿山占地总面积为 1324.31hm²，正在开采的面积

有 956.42 hm²，其中合法开采面积 798.97 hm²，疑似违法开采面积 157.45hm²；废弃矿山面积为 367.89hm²。2017 年正在开采的矿山面积比 2016 年增加了 182.91hm²。

2017 年海南岛东部滨海砂矿开采面个数比 2016 年增加明显，2016 年在建/生产矿山开采面有 30 个，2017 年在建/生产矿山开采面增至 45 个。尤以文昌市增加的幅度最明显，由 2016 年的 29 个骤升至 2017 年的 44 个。疑似违法矿山开采面由 2016 年的 6 个上升至 2017 年的 15 个之多。废弃矿山由 2016 年的 39 个下降为 2017 年的 34 个。

2016 年-2017 年，海滨砂矿在矿山占地总面积上略有减少，但是在局部地区矿山开发占损土地面积有明显增加的现象。砂矿开采面在数量上有明显增加。区域砂矿开采存在规模减小且分散化的趋势。

2.3 滨海砂矿的恢复治理状况

2016 年、2017 年区域砂矿的矿山环境恢复治理状况如表 3 所示。截至 2016 年，海南岛东部海滨砂矿环境恢复治理面积有 6961.88hm²，其中文昌 6597.97 hm²，万宁市 363.91 hm²。截至 2017 年海南岛东部海滨砂矿环境恢复治理面积有 7122.14hm²，其中文昌市 6704.56hm²，琼海市 5.38 hm²，万宁市 412.20 hm²。总体来看，全区矿山环境恢复治理率（已恢复治理面积/（现有砂矿占损土地面积+已恢复治理面积））达到 84.32%，近 2 年矿山环境恢复治理面积呈增加的趋势，“绿水青山就是金山银山”的生态文明思想正在贯彻实施。近年来海南岛东部滨海砂矿被恢复治理的实地照片，见图 2。

表 3 海南岛东部陆域滨海砂矿截至 2016、2017 年恢复治理统计表

Tab.3 Recovery status statistics of littoral placers at the eastern land of Hainan up to 2016 and 2017

行政区	截至 2016 年铅钛砂矿恢复治理状况		截至 2017 年铅钛砂矿恢复治理状况	
	数量/个	治理面积/hm ²	数量/个	治理面积/hm ²
文昌市	178	6597.97	189	6704.56
琼海市			5	5.38
万宁市	3	363.91	5	412.2
合计	181	6961.88	199	7122.14



图 2 滨海砂矿恢复治理野外实地照片

Fig.2 Photos of littoral placers taken by fieldwork

2.4 滨海砂矿的恢复治理变化及土地类型转换情况

2016 年-2017 年期间，开采面、中转场地等随着恢复治理或开采面的增扩，土地利用类型发生了转换；而固体废弃物、矿山建筑等几乎没有变化。2016-2017 年滨海砂矿矿山占地

类型之间的转换遥感解译图，见图 3。

开采面变化情况：文昌市：2016 年滨海砂矿开采面总面积为 1179.43hm²，至 2017 年时，2016 年原有的滨海砂矿开采面还有 1072.84hm²；被恢复治理了 106.59hm²，其中恢复治理成耕地 66.85hm²；2.48 hm² 被恢复治理成灌木林地；37.26 hm² 被恢复治理成其他林地。同时，2017 年文昌市滨海砂矿又有新增开采面 187.23 hm²，其中 13.45hm² 的耕地被毁坏变成矿山新增开采面、141.75 hm² 的灌木林地被毁坏变成矿山新增开采面、32.03 hm² 的灌木林地转换成滨海砂矿新的开采面。

琼海市：2016 年滨海砂矿开采面的总面积为 5.38hm²，至 2017 年时，2016 年原有的滨海砂矿开采面被恢复治理了 5.38hm²，其中有 1.52hm² 恢复治理成为灌木林地；2.91 hm² 恢复治理成仓储用地；0.95 hm² 恢复治理成坑塘水面。同时，2017 年滨海砂矿又有新增开采面 0.82hm²，其中 0.82 hm² 的灌木林地被转换成滨海砂矿新的开采面。

万宁市：2016 年滨海砂矿开采面总面积为 89.70hm²，至 2017 年时，2016 年原有的滨海砂矿开采面被恢复治理了 48.29hm²，其中有 31.36hm² 恢复治理成为其他林地；16.93 hm² 恢复治理成灌木林地。2017 年万宁市滨海砂矿没有新增开采面。

中转场地变化情况：2016 年 文昌市中转场地面积 13.82 hm²，没有进行恢复治理。琼海市 2016 年中转场地面积为 1.01 hm²，没有进行恢复治理。万宁市无中转场地。

总体来看，海南岛东部滨海砂矿恢复治理成效显著。

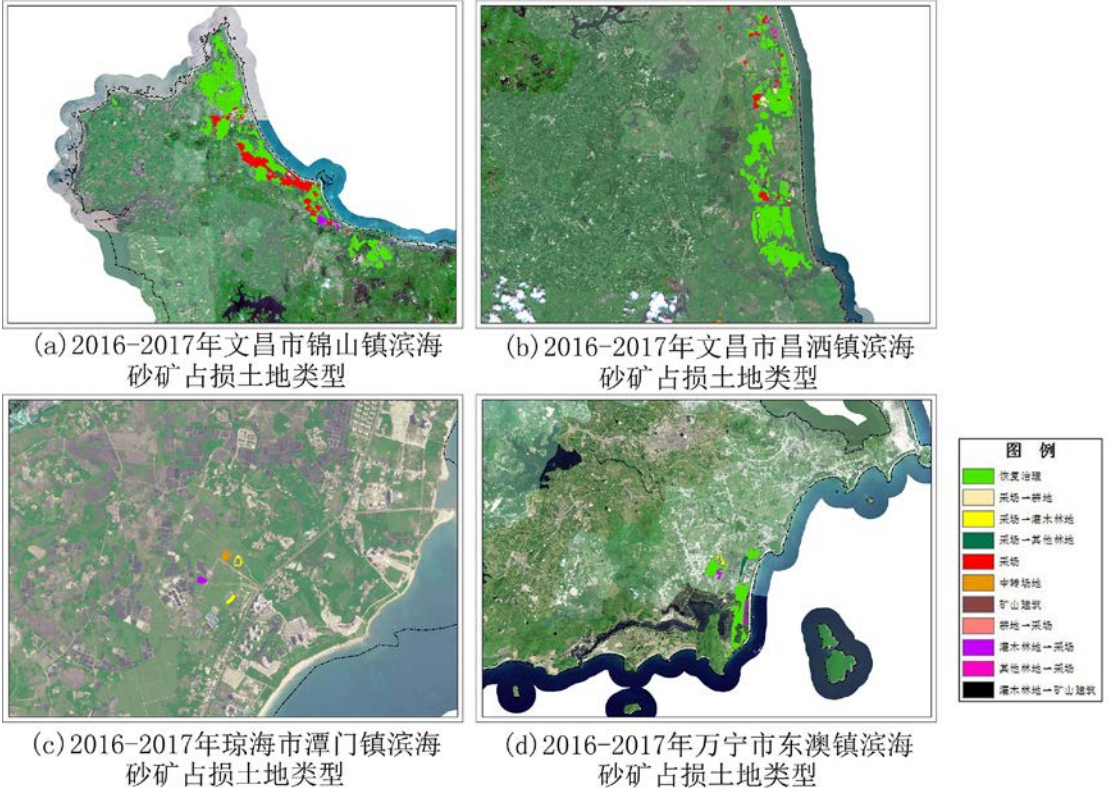


图 3 2016 年-2017 年滨海砂矿的矿山占地类型转换遥感解译图

Fig.3 Geological map interpreted through remote sensing image of Mining conversion status of littoral placers during 2016 to 2017

3、矿山环境修复对策研究

所谓生态修复是指对停止（或减少）对生态系统的人为干扰，以减轻其负荷压力，依靠生态系统的自我调节能力与自组织能力，使其生态系统向有序的方向演化，或者利用生态系

统的自我恢复能力,辅以人工措施,使遭到破坏的生态系统逐步恢复或使生态系统向良性循环方向发展。矿山环境恢复治理是生态修复的重要内容之一,理应采用生态修复的办法,才能取得很好的工作成效^[7-11]。

海南岛文昌至三亚的砂质海岸线上分布着丰富的第四纪钛铁矿和锆石资源。长期的采矿活动破坏了海南岛东部海滨砂矿区原有的生态环境。以万宁市为例。在开采钛锆矿之前,该市滨海地带为木麻黄为乔木、灌木草丛等植被,覆盖率达 60~70%;采矿后,地表植被均被破坏,大面积的防护林被砍伐。大面积植被破坏后的严重水土流失,是加剧生态系统退化的主要原因。更为严重的是,文昌市、琼海市和万宁市内的曾经/目前的主要砂矿开采区,是每年 7~10 月台风登陆的主要地点(1950-2011 年 62 年间,全海南岛台风登陆总数是 145 次,在文昌登陆 48 次,占 33.1%;琼海登陆 27 次,占 18.62%;万宁登陆 41 次,占 28.27%;在东部登陆高达 116 次,占 80%^[12])。随风产生大量的风沙流,使得林地土地的养分流失、本已贫瘠的砂土中的养分进一步流失,导致区域生态环境更为恶化,亟待恢复。遥感监测发现,区域实施了种植西瓜、花生、木麻黄、青梅林等多种生态修复措施。

我国东南沿海防护林主要是以木麻黄防护林为主,木麻黄具有抗台风、耐盐碱、耐干旱、耐贫瘠等优良特性,在防风固沙、改善区域生态环境方面起着不可替代的作用^[8]。但是由于海岸防护林是以木麻黄纯林为主,容易产生土壤肥力减退、病虫害和稳定性下降等问题。海南是岛屿生态,其土壤的成土母质主要是岩浆岩,以各种花岗岩分布最广,其次为新生代喷出的玄武岩,还有第三纪浅海沉积物和第四纪沉积物。主要土壤类型为砖红壤。其他还有滨海砂土、滨海盐土、赤红壤、山地黄壤和水稻土,海南土壤的养分循环具有强烈的养分生物积聚,土壤有机质快速分解周转,强烈的风化淋溶和土壤侵蚀引起的养分快速释放和淋失等特点。在进行生态修复时,应鼓励瓜农采用双膜栽培法(沙地覆膜有集雨、保墒、增温、防冻、防杂草、促进早熟和提高品质等多种作用),先种植西瓜、花生,在山岗、平原、沙荒地包括砂质、砂壤、粘土等各类土质中种植番薯,给待治理土地积累、补充必要的养分;然后再进行造林,这样不但省去整地平整等费用,大大降低造林成本,还有效促进木麻黄的生长和提高植被覆盖率,使砂矿废弃地的生态得以逐渐恢复^[13-19]。

前人资料与本次遥感监测发现,在万宁市礼记镇境内石梅湾滨海沙滩上自然生长着一片清一色的原始青梅林(又名青皮林)^[20-23],从九曲岭的海田起始,至陵水县交界的小牛岭为止,宽约 400 米,绵亘 50 里,面积有 1.4 平方公里。为了改善木麻黄防护林的弊端,可采用树种更替、多树种引种造林、选育良种以及加强林地凋落物保护等造林和地力维护措施。青梅林的土壤是以海砂为母质的热带滨海白砂土,没有层次结构,贫瘠且干燥。青梅林在森林群落中占绝对优势。在灌木层和草本层都有青梅的幼树和幼苗。如果人为引导单一木麻黄人工群落向青梅林群落的演替成功,将取得一举多得的效果。幼年的青梅林需在隐蔽生境下生长,而木麻黄生长迅速。时空上,木麻黄与青梅的生态位不同,至 40 年龄、青梅才进入快速生长期,而 40 龄的木麻黄已进入老龄。混交种植 2 种树木,若在 40 龄左右伐去木麻黄,由青梅取而代之,这样的防护林可长期维护数百年。青梅林可自然更新,虽然生长缓慢,长远看,这无疑将节约大量人工更新木麻黄林的成本,经济效益可观。且青梅材质优异,是高档家俱的良材,非木麻黄可比。建议海边 50m 内的滨海林带应采取永久性保留措施,将生态效益、环境效益放在首位。

花生起源于南美洲热带、亚热带地区,喜光热,以耕作层疏松的沙质土壤最为适宜。海南省具有种植花生的传统习惯,海南种植花生一般 1 年种植 2 造。分为春种和秋种,一般以春种为主^[16、18]。番薯宜选择土质疏松肥沃的壤土,或土质厚、土壤疏松、通气性好的沙、壤土进行深耕晒白。采用高畦栽培,扩大根系活动范围,增大昼夜温差,为番薯生长创造良好的土壤环境。覆盖地膜能够优化甘薯生态环境,克服早春低温、干旱等不利因素影响,促进甘薯生长发育^[14、17-19]。

4 结论与建议

本文采用遥感技术对海南岛东部海滨砂矿开发状况及矿山环境恢复治理情况进行了信息

提取,充分发挥了遥感技术宏观、快速、更新周期短等优势,且能直观、客观地反应地表信息的特点,节省了大量的人力物力成本。遥感监测结果表明,海南岛东部海滨砂矿区的砂矿开采存在规模减小且分散化的趋势;海滨砂矿区的生态修复工作取得较好的成效,84.32%的矿山废弃地得到恢复,“金山银山就是绿水青山”的生态文明思想,在海南岛得到了有效地贯彻执行。

土法采矿使得本已贫瘠的砂土的养分流失更多,导致生态环境恶化,亟待恢复。同时养分对植被的恢复又起着极重要的作用。大面积植被破坏后的严重水土流失,是加剧生态系统退化的主要原因。因此建议对海滨砂矿的化学成分、肥力、土壤 PH 值,含盐量等做全面的分析,利用测土配方施肥技术,全面改良砂矿废弃地;因地制宜,选择合理的恢复治理措施。或以木麻黄为当家树种,以青梅、相思树、湿地松等为辅助树种,重建/重现矿区森林生态系统;或种植西瓜、番薯、花生等农作物;或改建成海水养殖场等。

参考文献(References):

- [1] 刘洪滨.重视滨海砂矿的普查与勘探[J].中国地质,1985,(7):15-16.
Liu H B. Great attentions on the survey and exploration of littoral placers[J].Geology in China,1985,(7):15-16.
- [2] 何忠兴.海南钛锆资源开发现状及发展对策[J].有色金属技术经济研究,1992,(2):35-37.
He Z X. The exploitation situation and development strategies of Zr-Ti resource in Hainan Province[J].China Nonferrous Metals Techno-Economic Research,1992,(2):35-37.
- [3] 林明坤,林川善,潘燕俊等.海南省东部浅海锆钛砂矿物特征及成矿条件浅析[J].西部探矿工程,2016,(11):141-143.
Lin M K, Lin C S, Pan Y J, et al. The brief analysis on mineral character and minerogenetic condition of offshore Zr-Ti placer in eastern Hainan Province[J]. West-China Exploration Engineering, 2016, (11): 141-143.
- [4] 韩孝辉,王雪木,陈卫,等.海南岛东部滨海砂矿资源分布特征[J].中国矿业.2017,26(s1):246-250.
Han X H, Wang X M, Chen W, et al. The distributing characteristics of the marginal marine placer deposit resources in the eastern Hainan island[J]. China Mining Magazine, 2017, 26(s1): 246-250.
- [5] 陈忠,杨慧宁,颜文,等.中国海域固体矿产资源分布及其区划——砂矿资源和铁锰(微)结核-结壳[J].海洋地质与第四纪地质.2006,26(5):101-108.
Chen Z, Yang H N, Yan W, et al. Distributions and divisions of mineral resources in the sea areas of China: placer deposit and ferromanganese nodule/crust[J]. Marine Geology & Quaternary Geology. 2006, 26(5): 101-108.
- [6] 郭玉斌.基于遥感技术的云南省典型矿山环境恢复治理对策研究[J].科技广场.2017,(9):169-173.
Guo Y B. Study on the countermeasures of environmental recovery and treatment of typical mines in Yunnan province based on remote sensing technology[J]. Science Mosaic. 2017, (9): 169-173.
- [7] 姚宝琪,刘强.中国东南沿海混交海防护林建设研究进展[J].防护林科技.2010,(3):58-61.
Yao B Q, Liu Q. Progress in research of the construction of coastal windbreak forest with mixed species along the southeastern coast in China[J]. Protection Forest Science and Technology. 2010, (3): 58-61.
- [8] 王绥安,薛杨,符小干等.木麻黄在废弃钛矿地造林技术[J].热带林业,2008,36(3):27-28.
Wang S A, Xue Y, Wang X Y, et al. Afforestation technology at the abandoned Titanium mine land with casuarinas[J]. Tropical Forestry, 2008, 36(3): 27-28.
- [9] 彭少麟.恢复生态学与植被重建[J].生态科学,1996,15(2):26-31.
Peng S L. Restoration ecology and vegetation reconstruction [J]. Ecologic Science, 1996, 15(2): 26-31.
- [10] 彭少麟.恢复生态学与退化生态系统的恢复[J].中国科学院院刊,2000,(3):188-192.
Peng S L. Restoration ecology and degraded ecosystems rehabilitation[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2000, (3): 188-192.
- [11] 杨彩霞.露天矿山生态环境恢复治理若干方法探讨[J].石化技术,2017,(5):59.
Yang C X. Discussion on ecological environment recovery and management of open-pit mine [J]. Petrochemical Industry Technology, 2017, (5): 59.
- [12] 历史台风登陆点统计 1949-2014 年, http://www.360doc.com/content/17/0922/07/6598516_689100905.shtml

Historical typhoon landing point statistics from 1949 to 2014. http://www.360doc.com/content/17/0922/07/6598516_689100905.shtml.

- [13] 刘新光.滨海盐碱地西瓜种植技术[J].河北农业,2017,(12): 48-49.
Liu X G.Technology of watermelon cultivation in coastal saline[J].Heibei Agriculture,2017,(12):48-49.
- [14] 陈孝钿.番薯高产栽培技术[J].现代农业科技, 2009, (6): 178.
Chen X D.High-yield cultivation techniques of sweet potatoes[J].Modern Agricultural Science and Technology,2009,(6):178.
- [15] 齐美歌.沙地西瓜覆膜无公害高产栽培技术[J].中国瓜菜.2013, 26 (2): 51-52.
Qi M G.Pollution-free and high-yield cultivation mulching techniques of watermelon in sand[J].Chinese Cucurbits and Vegetables,2013,26(2):51-52.
- [16] 李庭虎,梁来国.沙地试行西瓜、花生覆膜间作[J].内蒙古林业,1996,(1):34.
Li T H,Liang L G.Trial implementation of mulching intercropping watermelon and peanuts in sand[J]. Journal of Inner Mongolia Forestry,1996,(1):34.
- [17] 兰孟焦,吴问胜,潘浩,等.不同地膜覆盖对土壤温度和甘薯产量的影响[J].江苏农业科学,2015,43(1):104-105.
Lan M J,Wu W S,Pan H,et al.Effects of different plastic film mulching on soil temperature and sweet potato production[J].Jiangsu Agricultural Sciences,2015,43(1):104-105.
- [18] 杨伟波,付登强,刘立云,等.海南花生研究现状及展望[J].热带农业科学,2013,33(5):73-75.
Yang W B,Fu D Q,Liu L Y,et al.Research status and prospects of peanut in Hainan province[J].Chinese Journal of Tropical Agriculture,2013,33(5):73-75.
- [19] 张成义,俞庚戌,邬贵阳.番薯地膜覆盖栽培效果研究[J].现代农业科技,2011,(16):47/50.
Zhang C Y,Yu G X,Wu G Y.Research on the effects of plastic film mulching cultivation of sweet potatoes[J].Modern Agricultural Science and Technology,2011,(16):47/50.
- [20] 曲仲湘.海南岛青梅林的发现[J].林业科学,1956,(3):279-281.
Qu Z X. The discovery of Vatica mangachapoi forest in Hainan island[J].Scientia Silvae Sinicae, 1956,(3):279-281.
- [21] 梁淑群,林英,杨小波,等.海南万宁礼纪青梅林[J].海南大学学报自然科学版,1993,11(4):1-9.
Liang S Q, Lin Y,Yang X B,et al. The Vatica hainanensis forest located in Liji, Wanning,Hainan Province[J].Natural Sciences Journal of Hainan University,1993,11(4):1-9.
- [22] 梁淑群,林英,杨小波,等.海南万宁礼纪青梅林(续)[J].海南大学学报自然科学版,1994,12(1):14-19.
Liang S Q, Lin Y, Yang X B,et al. The Vatica hainanensis forest located in Liji, Wanning, Hainan Province (continued) [J]. Natural Sciences Journal of Hainan University, 1994, 12(1):14-19.
- [23] 梁淑群,林英,杨小波,等.海南万宁礼纪青梅林(续完)[J].海南大学学报自然科学版,1994,12(2):129-135.
Liang S Q,Lin Y,Yang X B,et al.The Vatica hainanensis forest located in Liji, Wanning, Hainan Province(the end)[J].Natural Sciences Journal of Hainan University,1994,12(2):129-135.

Research on Remote Sensing Monitoring of littoral placers exploitation and Strategies of Ecological Restoration at the eastern beach of Hainan Island

ZHAO Yuling^{1*}, YANG Jinzhong¹, YIN Yaqiu¹, ZHAO Hang², HE Jinbao²,ZHANG Han³

(1. China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China;

(2. School of Earth Sciences and resources,China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;

(3. College of land Science and Technology,China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;)

Abstract: With the popularity of the idea that clear waters and green mountains are as valuable as mountains of gold and silver, rehabilitation of mine environment has become an important part of national

ecological civilization. The eastern coast of Hainan Island is one of the most potential areas for uhligite exploitation. However, long-term mining activities has destructed the original ecological environment of that area, leading to the fact that the local ecological environment has become poorer and need to be rebuilt urgently. By using high resolution remote sensing data, exploitation and recovery conditions of beach placers from 2016 to 2017 in the eastern coast of Hainan island were monitored. Results indicate that from 2016 to 2017 damaged areas of littoral placers has a growth of 182.91hm^2 and the number of exploitation surfaces increase by 24. The exploitation presents a tendency that the scale is reduced and distributed. Besides, during 2016 to 2017, recovery areas of mine ecological environment have grown to some extent and the mine environment conditions have shown a tendency to improve. Through annual comparison and analysis, treatment advices of littoral placer mining wasteland are proposed as follows. Casuarina could be used as the main species, combined with vatican hainanensis, acacia confuse, and slash pine as accessory species, to restore the forest ecosystem of the mine area; in addition, watermelons, sweet potatoes, peanuts and some other crops could be also applied to do restoration experiments in some representative regions; furthermore, damaged mine areas may also be rebuilt to seawater farms.

Keywords: littoral Placers, exploitation, ecological restoration, Remote Sensing Monitoring

doi: 10.6046/gtzyyg.2018.04.00

引用格式: 赵玉灵. 粤港澳大湾区自然资源遥感调查与保护建议[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(4): xx-xx. (Zhao Y L. Remote sensing survey and proposal for protection of the natural resources in YueGangAo Bay Area[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2018, 30(4): xx-xx.)

粤港澳大湾区自然资源遥感调查与保护建议

赵玉灵

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 利用2015年高分辨率遥感数据和地理地形资料,基本查明了2015年粤港澳大湾区的海岸线、红树林、湿地、耕地、园地、林地、草地、地表水和土地荒漠化等分布现状。2015年粤港澳大湾区大陆海岸线总长度为1 512.18 km,其中人工海岸线占了60.34%。耕地面积为7 820.59 km²,其中以水田为主要耕地类型,面积为5 934.17 km²,占耕地面积的75.88%。荒漠化面积为396.80 km²,以工矿型荒漠化为主,面积为211.26 km²,占荒漠化面积的53.24%;其次是水蚀荒漠化,面积为185.51 km²,占荒漠化面积的46.75%。区内自然资源的相关开发规划与保护治理工作亟需加强。本次研究采用生态足迹法分析数据显示,广州市的海珠区、天河区、黄埔区、番禺区和白云区的西北部,佛山市的南海区、禅城区和顺德区,东莞市北部,深圳市的宝安区、南山区、罗湖区、福田区及龙岗区西北部,惠州市的惠阳区、惠东县西部,中山市,江门市的江海区及珠海市的香洲区相对于其他地区生态承载力较低。

关键词: 粤港澳大湾区; 自然资源; 遥感调查; 生态足迹法

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2018)04-0000-09

0 引言

粤港澳大湾区地处广东省中南部(珠江三角洲在其范围内),是继美国纽约湾区、旧金山湾区和日本东京湾区之后建立的世界第四大湾区。该区三面环山,面向南海;区内三江(西江、北江和东江)汇聚,区位优势明显,是国家建设世界级城市群和参与全球竞争的重要空间载体。全区丘陵山地、台地与平原错落,特别是在粤西北江绥江南缘一带,有不少海拔四、五百m的高峰;但平原区地势平坦,海拔多在200 m以下。区内以南亚热带季风气候为主,雨量充沛,四季不分明,夏季高温潮湿,冬季无雪,树木长青,田野常绿。改革开放以来,该区一直是我国经济发展最为迅速的地区之一^[1-2]。

为了更好地服务于国家重大战略部署,利用“3S”技术,以2015年高分遥感数据和地理地形资料为主要数据源,完成了2015年的粤港澳大湾区自然资源分布现状的遥感调查工作(未包含香港、澳门2个特别行政区),并对岸线开发提出了建议,冀

望抛砖引玉,为区域国土空间合理开发建言献策。

自然资源是指自然界在其原始状态下就有价值的天然和人工开发培植的物质。受遥感的可解释性限制,本文中的自然资源主要包括耕地、园地、林地、草地、地表水、湿地及海岸带等;同时本文也对土地荒漠化现象进行了调查。

前人对珠江三角洲地区海岸线、红树林、耕地和土地利用等研究较多,给本文提供了很多可借鉴之处。本文是“南部沿海地区自然资源遥感综合调查(广东区)”子项目的部分成果。

1 工作概况

本文调查范围为广州、佛山、肇庆、深圳、东莞、惠州、珠海、中山及江门等9个省辖市。

本次调查以采用遥感技术为主,辅以地理信息系统和北斗定位技术,采用遥感解译、综合分析和实地检查验证相结合的技术路线。遥感数据源采用了2015年第二次全国土地调查所用的遥感数据,人口及经济等数据来源于《广东省统计年鉴2015》。

收稿日期: 2017-10-25; 修订日期: 2017-12-25

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“全国自然资源遥感综合调查与信息系统建设”之子项目“南部沿海地区自然资源遥感综合调查(广东区)”(编号: DD20160077)资助。

作者简介: 赵玉灵(1971-),女,博士,教授级高级工程师。主要从事遥感地质、生态环境遥感调查和数据库等方面的研究工作。
Email: 1398991855@qq.com。

2 自然资源分布状况遥感调查

2.1 林地资源遥感调查

2015 年调查区林地面积为 28 011.22 km²。其中以有林地为主,面积为 26 322.49 km²,占全区林地面积的 93.97%;灌木林地 332.88 km²,占林地面积的 1.19%;其他林地 1 355.84 km²,占林地面积的 4.84%。区内林地资源在肇庆市分布最多,达到 10 965.84 km²,占全区林地面积的 39.15%;惠州市、江门市和广州市林地资源面积次之,分别为 7 035.10 km²,4 638.29 km²和 2 862.23 km²,3 市合计林地占全区林地面积的 51.89% (图 1)。林地资源现状总体表现为总量不足,分布不均,生态功能较为脆弱,其效益未能充分发挥。由于该区经济持续保持迅猛发展势头,随着占用和征收林地数量的逐年增多,将会导致林地保护与需求的矛盾日趋突出。

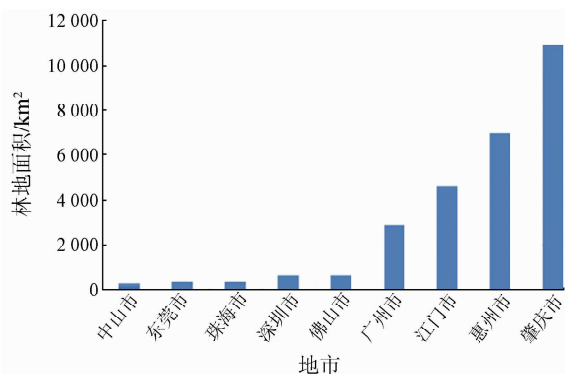


图 1 粤港澳大湾区 2015 年林地现状遥感解译统计

Fig.1 Statistics of the forest in YueGangAo Bay Area in 2015

2.2 草地资源遥感调查

2015 年调查区草地面积为 326.24 km²。其中以其他草地为主,面积为 304.94 km²,占全区草地面积的 93.47%;人工草地面积 11.31 km²,占草地面积的 3.47%;天然草地面积 9.99 km²,仅占草地面积的 3.06%。区内草地资源集中分布在东莞市和惠州市,分别为 76.2 km²和 68.39 km²,2 市合计占全区草地面积的 44.32%;其他各市草地面积分别为:广州市 45.82 km²、江门市 35.68 km²、肇庆市 35.5 km²、佛山市 26.62 km²、深圳市 20.33 km²、珠海市 13.26 km²、中山市 4.44 km² (图 2)。草业在大湾区处于弱势地位,天然草场和人工草场发展滞后;大部分有规模的草地多位于山高坡陡的地区,交通不便、人烟稀少,这些草地丰草季节“有草无畜”,草地没有及时利用,导致杂草丛生,逐年退化,牧草无法有效利用。

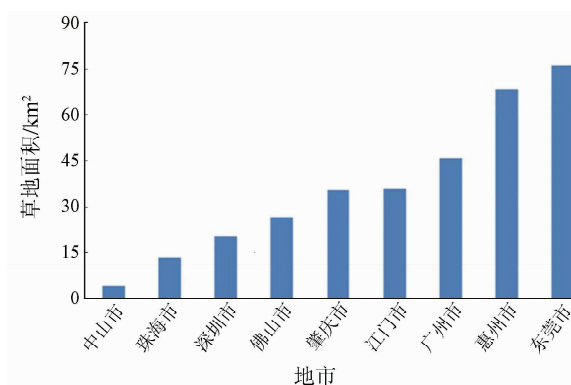


图 2 粤港澳大湾区 2015 年草地现状遥感解译统计

Fig.2 Statistics of the grassland in YueGangAo Bay Area in 2015

2.3 地表水资源遥感调查

2015 年调查区地表水面积为 5 266.02 km²。其中以坑塘水面为主要地表水类型,面积为 3 516.01 km²,占全区地表水面积的 66.77%;河流水面 1 219.76 km²,占地表水面积的 23.16%;水库水面 515.91 km²,占地表水面积的 9.80%。其中地表水资源在佛山市和江门市分布最为集中,分别达到了 1 298.12 km²和 1 019.07 km²,2 市合计占全区地表水面积的 44%;深圳市地表水分布最少,仅 60.58 km² (图 3)。从 2007 年至今,全区水体经历了破碎化过程,其中河流、坑塘及湖泊的变化过程表现为先破碎后萎缩,而水库表现为破碎度减小且面积及数量增加。河流片段化及渠道化,坑塘萎缩破碎,水库增加,这与城市建设用地扩展侵占水体,人为整治河道及城市生活用水需求增加有关。

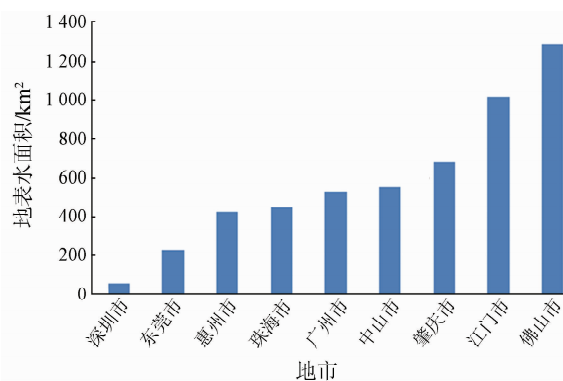


图 3 粤港澳大湾区 2015 年地表水现状遥感解译统计

Fig.3 Statistics of the surface water in YueGangAo Bay Area in 2015

2.4 湿地资源遥感调查

2015 年调查区湿地面积为 8 649.87 km²。人工湿地、近海及海岸湿地、河流湿地、沼泽湿地、湖泊湿地的面积分别为 4 052.44 km²,3 263.89 km²,1 281.15 km²,37.75 km²和 14.64 km²,所占比例分别为 46.85%,37.73%,14.81%,0.44%和 0.17%。其中江门市、珠海市和佛山市湿地分布较集中,分别

占湿地总面积的 24.67% ,21.46% 和 14.15% ; 东莞市湿地分布最少,仅有 297.88 km² (图 4)。整体来看,区内湿地开发程度非常高,从 20 世纪 80 年代的大规模海水养殖转型到 21 世纪初的建设用地和机场码头的建设。与之对应的是自然岸线的消失和人工岸线的大规模外移。该区面临的主要问题是湿地泥沙淤积、水质污染严重以及生物多样性减少。建议今后的工作重点放在加强水源地保护和流域综

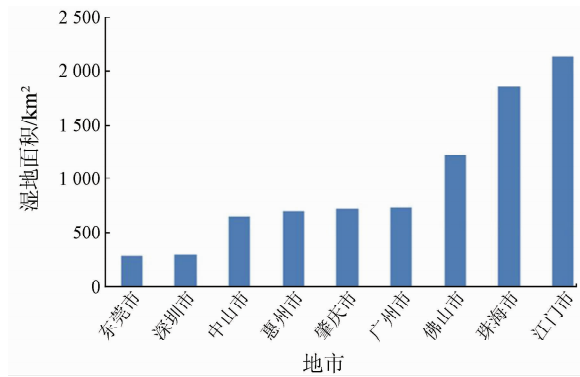


图 4 粤港澳大湾区 2015 年湿地现状遥感解译统计
Fig.4 Statistics of the wetlands in YueGangAo Bay Area in 2015

合治理,在河流源头区域及重要湿地区域开展植被保护和恢复措施,防止水土流失,加强湿地自然保护区建设方面。

2.5 岸线资源遥感调查

调查区的海岸涵盖了基岩海岸、砂砾质海岸、淤泥质海岸、生物海岸(主要为红树林)和人工海岸等多种类型^[3-11,17]。海岸线可以进一步分为岛屿岸线和大陆岸线 2 种。2015 年调查区大陆海岸线长度为1 512.18 km。其中以人工海岸线为主要海岸线类型,长度为 912.42 km,占大陆海岸线总长度的 60.34% ; 基岩海岸和沙砾质海岸线长度分别为 374.37 km 和 155.99 km,合计占比为 35.07% ; 生物海岸线和淤泥质海岸线长度较短,分别为 58.85 km 和 10.55 km,合计仅占 4.59% (表 1)。分布有海岸线的城市有深圳市、珠海市、江门市、惠州市、广州市、东莞市和中山市。全区以平原海岸为主,工商农业经济地位十分重要,但由于受地势低平、海岸侵蚀和地面下沉等自然与人为条件的影响,海岸带在未来海平面上升的总趋势中将面临严峻的挑战与威胁。

表 1 2015 年广东省大陆岸线的类型与长度统计

Tab.1 Statistics of the length of mainland coastlines in YueGangAo Bay Area in 2015

地市	基岩海岸/km	沙砾质海岸/km	淤泥质海岸/km	生物海岸/km	人工海岸/km	海岸线系数/km ⁻¹
珠海市	58.15	18.43	—	3.37	203.58	0.166 68
广州市	39.64	7.24	—	3.49	146.14	0.026 43
江门市	114.04	10.69	0.89	6.75	143.41	0.029 01
东莞市	7.41	—	—	16.88	94.26	0.047 19
深圳市	82.84	40.75	—	28.36	164.24	0.158 34
中山市	0.66	—	7.10	—	47.93	0.031 22
惠州市	71.63	78.88	2.56	—	112.86	0.022 93

由表 1 可知,海岸线主要分布在深圳、珠海、江门、惠州、广州、东莞和中山等市。其中深圳、珠海和江门 3 市的海岸线长度最长,分别为 316.19 km,283.53 km 和 275.78 km。人工海岸线最长的是珠海、深圳和广州 3 市,分别为 203.58 km,164.24 km 和 146.14 km。生物海岸线仅分布在深圳市、东莞市、江门市、广州市和珠海市,其中深圳市最长,达到 28.36 km。

海岸线系数是用来表示陆域地区海洋资源丰富程度的一个指数。其计算方法是以海岸线长度(km)除以陆域面积(km²)。系数越高,意味着单位陆域面积所面临的海水面积越大,所具有的海洋资源越丰富。在粤港澳大湾区范围内,珠海市、深圳市的海岸线系数最高。其中,珠海市、深圳市以人工海岸和基岩海岸居多;区内港口和房地产、旅游业等的开发促进了人工海岸的增长,而大量基岩海岸的存在意味着海洋资源开发仍有可观的未来。广州、

江门、惠州等市的海岸线系数低于全区平均水平,由于海岸带资源丰富且便于开发,自然环境适宜生活、生产,相关的海洋资源开发活动仍有进一步提升的空间。

2.6 耕地资源遥感调查

2015 年调查区耕地面积为 7 820.59 km²。其中以水田为主要耕地类型,面积为 5 934.17 km²,占耕地面积的 75.88% ; 旱地为 952.84 km²,占耕地面积的 12.18% ; 水浇地为 933.58 km²,占耕地面积的 11.94%。区内耕地资源在江门市、惠州市和肇庆市分布居多,面积合计达到了 5 768.61 km²,共占全区耕地面积的 73.76% (图 5)。而广州市、佛山市、珠海市、东莞市、中山市和深圳市的耕地分布面积依次减少。总体而言,调查区耕地面积总量少,并大多为水田;补充耕地难度较大,存在占优补劣、占近补远现象;今后社会经济发展和生态建设不可避免地仍会继续减少一定数量的耕地。

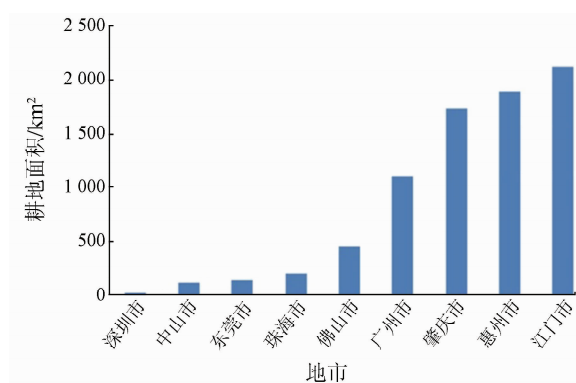


图5 粤港澳大湾区2015年耕地现状遥感解译统计

Fig. 5 Statistics of the farmland in YueGangAo Bay Area in 2015

2.7 园地资源遥感调查

2015 年调查区园地面积为 4 956.79 km²。其中以果园为主要园地类型,面积为 4 688.95 km²,占园地面积的 94.60%;其他园地类型有 260.33 km²,占园地面积的 5.25%;茶园面积仅 7.50 km²,占园地面积的 0.15%。区内园地资源集中分布在惠州市和广州市,分别为 1 467.94 km²和 1 348.67 km²,2 市合计占全区园地面积的 56.82%;其次为肇庆市,有园地 813.29 km²,东莞市有 409.72 km²,江门市有 339.07 km²(图 6)。

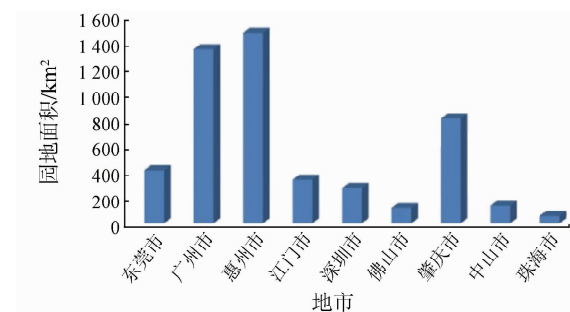


图6 粤港澳大湾区2015年园地现状遥感解译统计

Fig. 6 Statistics of the garden plot in YueGangAo Bay Area in 2015

2.8 红树林湿地资源的遥感调查

2015 年调查区红树林总面积为 3 575.00 hm²,主要分布在惠州、深圳、东莞、广州、中山、珠海和江门等市。其中惠州市、珠海市和江门市的红树林面积排在前 3 位,分别为: 1 064.98 hm²,910.32 hm²和 593.63 hm²(表 2)。红树林湿地是调查区重要的旅游资源之一,面积越大,相关的岸线越长,旅游资源和开发潜力越丰富。建议在大湾区综合规划过程中,予以适当利用。随着围海养殖、海洋捕捞和路桥工程建设的发展,该区的红树林资源遭到了一定程度的破坏。2003 年至今,保护红树林资源受到重视,全区现有国家级自然保护区 2 个,分别是深圳福田保护区和湛江保护区,一个省级自然保护区,为珠

海淇澳保护区。红树林的面积自 20 世纪 70 年代以来呈现出先下降后上升的趋势。目前,调查区内仅在深圳市和珠海市设有保护区,应进一步加强区内红树林湿地的保护。在统一规划的基础上,做到“在保护中开发,在开发中保护”^[7-8,12-17]。

表2 粤港澳大湾区2015年红树林面积统计

Tab. 2 Statistics of the mangrove wetlands in YueGangAo Bay Area in 2015 (hm²)

市域	区县	红树林面积
东莞市	东莞市	53.71
	番禺区	72.88
广州市	南沙区	244.95
	黄浦区	7.28
惠州市	惠东县	39.35
	台山市	1 025.63
江门市	恩平市	148.57
	新会区	143.15
	电白县	301.91
深圳市	宝安区	102.66
	龙岗区	27.78
	阳东县	369.07
中山市	中山市	127.74
珠海市	斗门市	129.53
	金湾区	250.37
	香洲区	530.42

2.9 土地荒漠化遥感调查

2015 年调查区荒漠化面积为 396.80 km²。其中以工矿型荒漠化为主要类型,面积达 211.26 km²,占荒漠化面积的 53.24%;其次是水蚀荒漠化,面积为 185.51 km²,占荒漠化面积的 46.75%;沙质荒漠化和盐碱质荒漠化基本没有。荒漠化分布较集中的地区为肇庆市、惠州市、江门市和广州市,4 个市的荒漠化面积共占大湾区荒漠化总面积的 89.28%(图 7)。大部分地区均存在不同程度上的炸山采石、修路等情况,主要分布在城镇周围的低山丘陵地段。这些地段多由于剥离山体,开采建材石料等非金属矿,破坏了植被,形成了类似荒漠化的景观,故其空间分布与矿产地分布关系密切。

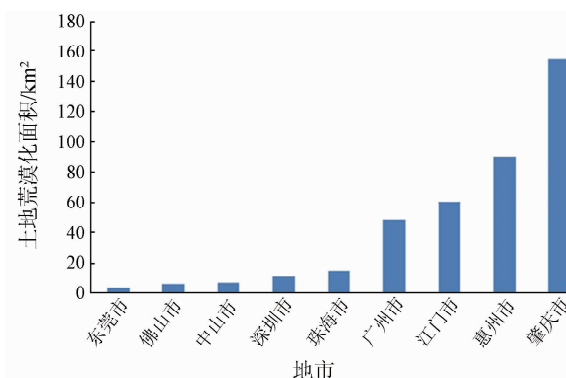


图7 粤港澳大湾区2015年荒漠化现状遥感解译统计

Fig. 7 Statistics of the desertified land in YueGangAo Bay Area in 2015

3 综合分析

为了进行细致地区域植被覆盖度分析、区域生态足迹与承载力分析,调查区各个遥感调查因子及收集到的非空间数据都被离散化成规则的网格,各种分析评价都是在网格文件的基础上进行的。每个小网格为边长 5 km 的正方形,其面积为 25 km²。通过 GIS 空间统计得到每个网格内不同因子类型比例。

3.1 区域植被覆盖度分析

植被覆盖度(plant cover index, PCI)是生态环境健康的重要指标,通常以特定区域各种植被所占面积与总面积的比值度量。采用中国国家环境监测总

站制定的计算方法,即

$$PCI = (0.5S_{\text{林地}} + 0.3S_{\text{草地}} + 0.2S_{\text{农田}})/S, \quad (1)$$

式中 S 为研究区面积,各不同地类以下角标区分。林地($S_{\text{林地}}$)可划分为有林地($S_{\text{有林地}}$)、灌木林地($S_{\text{灌木林}}$)和疏林地($S_{\text{疏林}}$),即

$$S_{\text{林地}} = 0.6S_{\text{有林地}} + 0.25S_{\text{灌木林}} + 0.15S_{\text{疏林}}。 \quad (2)$$

草地($S_{\text{草地}}$)按覆盖度的高低可划分为高覆盖草地($S_{\text{高草}}$)、中覆盖草地($S_{\text{中草}}$)和低覆盖草地($S_{\text{低草}}$)3 种类型,即

$$S_{\text{草地}} = 0.6S_{\text{高草}} + 0.3S_{\text{中草}} + 0.1S_{\text{低草}}。 \quad (3)$$

农田($S_{\text{农田}}$)按土地利用方式可划分为水田($S_{\text{水田}}$)和旱田($S_{\text{旱田}}$),即

$$S_{\text{农田}} = 0.7S_{\text{水田}} + 0.3S_{\text{旱田}}。 \quad (4)$$

图 8 为粤港澳大湾区 2015 年植被覆盖度。

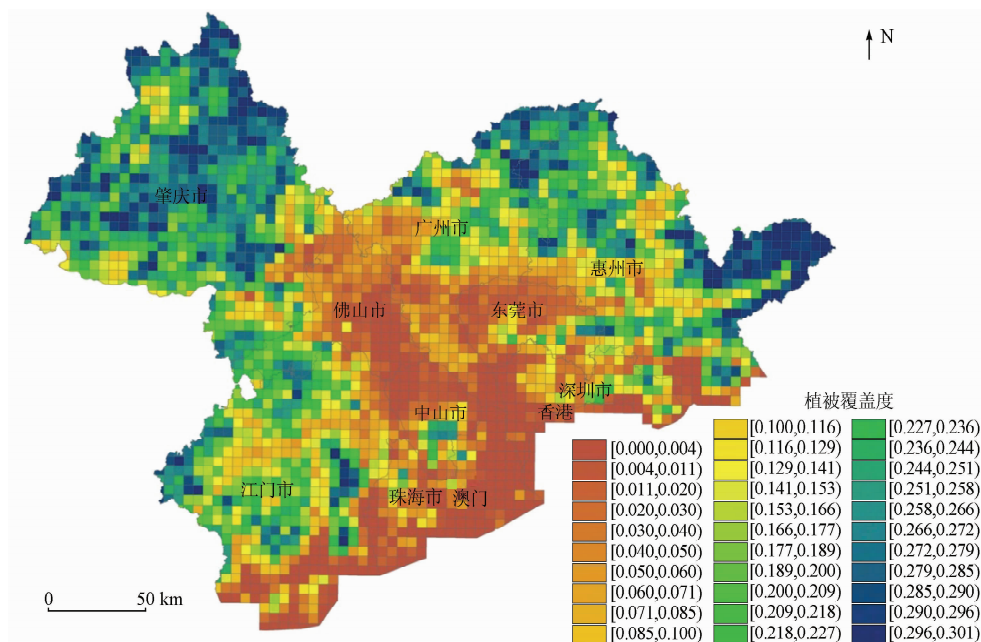


图 8 粤港澳大湾区 2015 年植被覆盖度

Fig. 8 PCI in YueGangAo Bay Area in 2015

从图 8 可知,区内肇庆市的植被覆盖度最好,而惠州市、江门市的西北部、佛山市的西南部及中山市的西南部植被覆盖度次之。由此项指标可知,肇庆市和惠州市生态环境最好,江门市次之,佛山市东部、中山市北部、深圳市和东莞市生态环境较差。

3.2 区域生态足迹与承载力分析

城市是人类活动集中的地区,也是人类活动对自然生态系统产生压力最大的区域。以人为核心的城镇化要以生态承载力为支撑。生态承载力是描述限制区域经济社会发展程度的常用指标,通常表述为人口承载力、资源承载力及环境承载力等,是指生态系统的自我维持能力、自我调节能力、资源与环境的供容能力、可持续养育的社会经济活动强度以及具有一定生活水平的人口数量,是判断资源

开发强度与环境承载力的重要依据^[19-24]。

生态足迹(ecological footprint, EF)是指能够持续地提供资源或消解废物并具有生物生产力的地域空间,是生产已知人口做消费的所有资源和吸纳这些人口所产生的所有废弃物所需要的生物生产土地的总面积和水资源,它从具体的生物物理角度研究自然资本消耗的空间测度问题,即

$$EF = N \cdot ef = N \sum (r_i c_i / p_i), \quad (5)$$

式中: i 为消费商品的类别; p_i 为第 i 种消费商品的平均生产能力; c_i 为第 i 种商品的人均消费量; r_i 为均衡因子; N 为人口数; ef 为人均生态足迹; EF 为总生态足迹。

土地承载力(生态承载力,生态足迹的供给)是

指区域土地所能持续供养的人口数量,反映在不损害区域生产力的前提下,一个区域有限的土地资源能供给的最大人口数量。不同国家或地区某类生物生产面积所代表的区域产量与世界平均产量的差异可用“产量因子”来校正。同时,生态承载力计算时需扣除 12% 的生物多样性保护面积。因此,人均生态承载力的计算公式为

$$ec = \sum_{j=1}^5 a_j r_j y_j, \quad (6)$$

$$EC = N \cdot ec = N \left(\sum_{j=1}^5 a_j r_j y_j \right), \quad (7)$$

式中: EC 为区域总人口的生态足迹供给, m^2 ; ec 为人均生态足迹供给, $m^2/\text{人}$; a_j 为 j 类型生物生产性土地人均拥有面积, $j=1,2,3,4,5$; y_j 为产量因子。

因为单位面积耕地、水域、草地和林地等的生物生产能力差异很大,为了使计算结果转化为一个可比较的标准,有必要在每种类型生物生产面积前乘上一个均衡因子(权重),以转化为统一的、可比较的生物生产面积。在计算生态足迹的供给(生态承

载力)时,不同国家或地区同类生物生产土地的实际面积是不能直接对比的,需要对其进行调整。不同国家或地区的某类生物生产面积所代表的平均产量与世界平均产量的差异可用产量因子来表示。产量因子是某个国家或地区某类型土地的平均生产力与世界同类土地的平均生产力的比率。本文中选取的因子有:耕地、草地、林地、水域和建筑用地,其均衡因子和产量因子的系数分别为:①均衡因子:耕地 2.8、草地 0.5、林地 1.1、水域 0.36、建筑用地 2.8;②产量因子:耕地 2.19、草地 0.19、林地 0.91、水域 1、建筑用地 2.19。

数据显示,2015 年调查区人均生态足迹平均值为 $0.4136 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。扣除 12% 生物多样性保护用地后,人均生态承载力为 $0.364 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。

生态足迹的理论分析表明,生产和生活消费模式是影响城市足迹大小的关键因素。经济发达地区居民的生态足迹普遍比经济欠发达地区居民的生态足迹要高。这说明生态足迹水平与经济发展水平有关,经济越发达的地区所占用的生态足迹面积也越大。图 9 为调查区 2015 年的生态足迹分析。

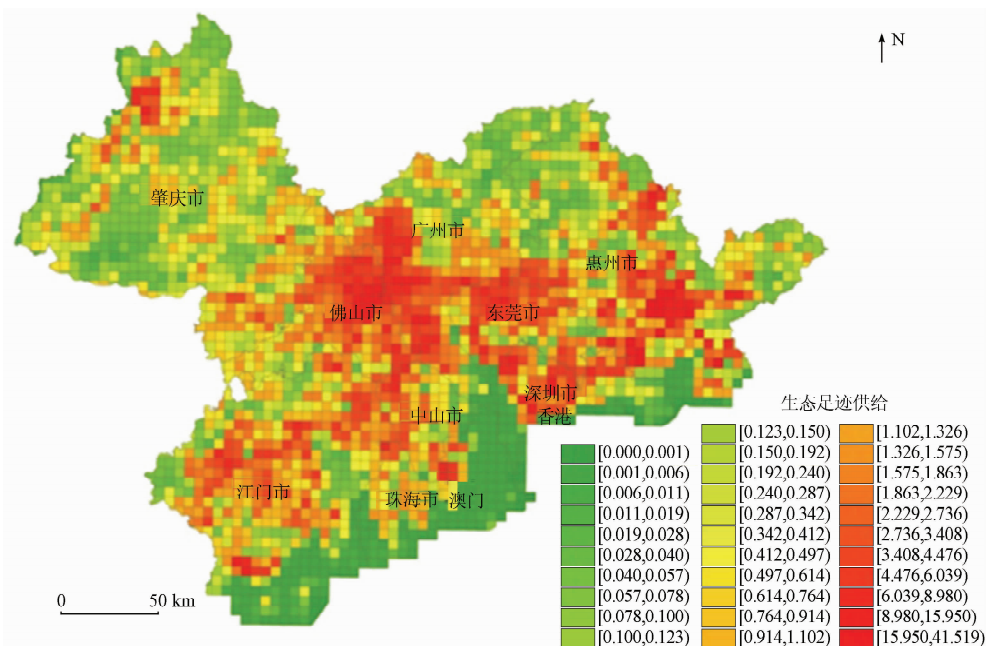


图 9 粤港澳大湾区 2015 年生态足迹供给分析

Fig. 9 Statistics of the ecological footprint in YueGangAo Bay Area in 2015

由图 9 可知,广州市的海珠区、天河区、黄浦区、番禺区和白云区的西北部,佛山市的南海区、禅城区和顺德区,东莞市北部,深圳市的宝安区、南山区、罗湖区、福田区及龙岗区西北部,惠州市的惠阳区、惠东县西部,中山市,江门市的江海区及珠海市的香洲区人均生态承载力数值较高。由此可见上述地区区域承载力相对于其他地区较低,建议比较各地区位

优势、资源分布情况,区域统筹,分类规划,优化产业结构,实现协调和绿色发展。

4 结论与讨论

采用 3S 技术,以 2015 年第二次全国土地调查所用的遥感图像为主要数据源,在总结并制定不同

类型海岸线、红树林生物海滩的遥感解译标志和提取原则等工作基础上,基本查明了2015年粤港澳大湾区(不含香港和澳门特别行政区)的自然资源的分布现状。

(1)2015年调查区林地面积为28 011.22 km²,以有林地为主,灌木林次之;总体表现出总量不足、分布不均的特点。肇庆市的植被覆盖度最好,其次是惠州市,江门市的西北部、佛山市的西南部及中山市的西南部植被覆盖度次之。区内草地资源在各类自然资源中处于弱势地位,总面积仅326.24 km²,多位于山高坡陡的地段,天然草场和人工草场偏少。建议在大湾区发展过程中,应注意保护林地草地的生态功能,以发展旅游业等第三产业为主,科学规划,合理利用。

(2)调查区地表水资源相对丰富,2015年面积为5 266.02 km²,以坑塘水面、河流水面为主;经历了长时间的破碎化发展过程,河流片断化,坑塘萎缩,建设用地侵占水体。水资源分布与区域经济发展不平衡,重心在西部。建议加强区域协调,建立互联互通的多水源联合供水格局,促进水资源的均衡开发和利用。调查可知,2015年调查区湿地面积为8 649.87 km²,以人工湿地、近海及海岸湿地和河流湿地为主,集中分布在江门市、珠海市和佛山市。以天然湿地大幅减少为特征。建议在大湾区开发过程中,注重水土保持,控制环境污染,防止湿地退化、生物多样性减少。

(3)调查区耕地总量偏少,2015年耕地面积为7 820.59 km²,以水田为主,主要分布在江门市、惠州市和肇庆市;园地面积为4 956.79 km²,其中以果园为主。应加强耕地保护,发展绿色农业。

(4)2015年调查区大陆海岸线为1 512.18 km,以人工海岸线为主;其中珠海市、深圳市海岸线系数最大。海岸线长度的确定对于加强海洋综合管理、进行海洋经济活动、发展海岸带有重要作用。基岩岸线越长,则海湾就越多,深港、良港就越多。生物岸线(包括红树林岸线和珊瑚礁岸线)是旅游资源的重要组成部分,该类型长度越长,则旅游资源越丰富。砂砾质岸线长度决定了沙滩的丰富程度,这一定程度上决定了滨海的旅游、房地产业的可开发量。沙砾质岸线还和砂质矿产密切相关,砂质岸线蕴藏了丰富的石英砂、锆钛矿等,此类岸线越长则上述矿藏越多。淤泥质岸线则可用于水产养殖,其长度对发展海洋养殖业有重大作用。

(5)2015年调查区荒漠化面积为396.80 km²,以工矿型荒漠化、水蚀荒漠化为主;沙质荒漠化和盐碱质荒漠化基本没有。多数荒漠化地区存在不同

程度的开山采石、修路等现象,建议做好自然资源空间规划,加大矿山环境恢复治理力度。

(6)广州市的海珠区、天河区、黄埔区、番禺区和白云区的西北部,佛山市的南海区、禅城区和顺德区,东莞市北部,深圳市的宝安区、南山区、罗湖区、福田区及龙岗区西北部,惠州市的惠阳区、惠东县西部,中山市,江门市的江海区及珠海市的香洲区人均生态承载力数值较高。建议比较各地区位优势、资源分布情况,区域统筹,分类规划,优化产业结构,实现协调和绿色发展。

志谢: 本文是广东区自然资源更新调查子项目的部分成果。在项目工作和本文撰写过程中得到了方洪宾、聂洪峰、邢宇、孙永军、范景辉、邵日涛、关刚、杨晶晶、王徐凡、张涛、张春虎和王珊珊等多位同志的帮助,在此谨表谢忱。

参考文献(References):

- [1] 李金发,王 昆,等. 粤港澳大湾区自然资源与环境图集[Z]. 中国地质调查局,2017.
Li J F, Wang K, et al. The atlas of the natural resources and environment in YueGangAo Bay[Z]. China Geological Survey, 2017.
- [2] 孙伟富,马 毅,张 杰,等. 不同类型海岸线遥感解译标志建立和提取方法研究[J]. 测绘通报. 2011(3):41-44.
Sun W F, Ma Y, Zhang J, et al. Study of remote sensing interpretation keys and extraction technique of different types of shoreline [J]. Bulletin of Surveying and Mapping. 2011, (3):41-44.
- [3] 赵玉灵,聂红峰,杨金中. 中国沿海经济区带海岸线、潮滩与湿地遥感监测研究[M]. 北京,地质出版社,2013.
Zhao Y L, Nie H F, Yang J Z. Research and Dynamic Monitoring on the Coastline, Tidal Flat and Wetland of China's Coastal Economic Belt[M]. Beijing, Geological Publishing House, 2013.
- [4] 王忠蕾,张训华. 基于RS的海岸线动态监测研究进展[J]. 海洋地质动态. 2009,25(4):1-7.
Wang Z L, Zhang X H. Research progress of coastline dynamic monitoring based on RS[J]. Marine Geology Letters. 2009,25(4):1-7.
- [5] 赵玉灵. 近30年来我国海岸线遥感调查与演变分析[J]. 国土资源遥感. 2010,22(s1):174-177. doi:10.6046/gtzyyg. 2010. s1. 37.
Zhao Y L. Dynamic monitoring on the mainland coastline of China in the past 30 years[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2010,22(s1):174-177. doi:10.6046/gtzyyg. 2010. s1. 37.
- [6] 赵玉灵. 珠江口地区近30年海岸线与红树林湿地遥感动态监测[J]. 国土资源遥感. 2010,22(s1):178-184. doi:10.6046/gtzyyg. 2010. s1. 38.
Zhao Y L. The remote sensing dynamic monitoring of the evolution of shoreline and mangrove wetlands in the Zhujiang River Estuary in the Past 30 years [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2010,22(s1):178-184. doi:10.6046/gtzyyg. 2010. s1. 38.
- [7] 赵玉灵. 近30年来中国大陆海岸线与潮滩遥感调查与演变分

- 析[C]. 刘兆军,徐 鹏,王小勇. 第 19 届中国遥感大会论文集. 北京:中国宇航出版社,2014:1810-1815.
- Zhao Y L. Dynamic monitoring on the mainland coastline and tidal flat of China in the past 30 years[C]. Liu Z J, Xu P, Wang X Y. 19th Conference on Remote Sensing of China. Beijing:China Astronautic Publishing House,2014:1810-1815.
- [8] 刘善伟,张 杰,马 毅,等. 遥感与 DEM 相结合的海岸线高精度提取方法[J]. 遥感技术与应用. 2011,26(5):613-618.
- Liu S W, Zhang J, Ma Y, et al. Coastline extraction method based on remote sensing and DEM[J]. Remote Sensing Technology and Application. 2011,26(5):613-618.
- [9] 高 珊,傅命佐,马安青. 3S 技术在海岸带调查中的应用[J]. 海洋湖沼通报,2009,(4):110-122.
- Gao S, Fu M Z, Ma A Q. The application of 3S technologies in coastal zone survey [J]. Transactions of Oceanology and Limnology. 2009,(4):110-122.
- [10] 于彩霞,王家耀,许 军,等. 海岸线提取技术研究进展[J]. 测绘科学技术学报,2014,31(3):305-309.
- Yu C X, Wang J Y, Xu J, et al. Advance of coastline extraction technology [J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2014,31(3):305-309.
- [11] 刘 凯,黎 夏,王树功,等. 珠江口近 20 年红树林湿地的遥感动态监测[J]. 热带地理. 2005,25(2):111-116.
- Liu K, Li X, Wang S G. et al. Monitoring of the changes of mangrove wetland around the Zhujiang Estuary in the past two decades by remote sensing [J]. Tropical Geography. 2005,25(2):111-116.
- [12] 王树功,黎 夏,周永章,等. 珠江口淇澳岛红树林湿地变化及调控对策研究[J]. 湿地科学. 2005,3(1):13-20.
- Wang S G, Li X, Zhou Y Z, et al. The changes of mangrove wetland ecosystem and controlling countermeasures in the Qi'ao Island [J]. Wetland Science. 2005,3(1):13-20.
- [13] 于 祥,赵冬至,张丰收. 遥感技术在红树林生态监测与研究中的应用进展[J]. 海洋环境科学. 2005,24(1):76-80.
- Yu X, Zhao D Z, Zhang F S. Application of remote sensing technology in mangrove ecological monitoring and research [J]. Marine Environmental Science. 2005,24(1):76-80.
- [14] 黎 夏,刘 凯,王树功. 珠江口红树林湿地演变的遥感分析[J]. 地理学报. 2006,61(1):26-34.
- Li X, Liu K, Wang S G. Mangrove wetland changes in the Pearl River Estuary using remote sensing [J]. Acta Geographica sinica. 2006,61(1):26-34.
- [15] 赵玉灵. 南部沿海地区自然资源遥感综合调查(广东区)项目 2016 年度成果报告[R]. 北京:中国地质调查局,2016.
- Zhao Y L. The Report Research of Natural Resources in Guangdong Province in 2015 [R]. Beijing:China Geological Survey,2016.
- [16] 赵玉灵. 近 40 年来伶仃洋海岸线与红树林遥感调查与演变分析[J]. 国土资源遥感,2017,29(1):136-142. doi:10.6046/gtzyyg. 2017.01.21.
- Zhao Y L. Remote sensing dynamic monitoring of the shoreline and the mangrove wetland in the Lingdingyang Estuary in the past 40 years [J]. Remote Sensing for Land and Resources,2017,29(1):136-142. doi:10.6046/gtzyyg. 2017.01.21.
- [17] 广东省统计局. 广东省统计年鉴 2015[M]. 北京:中国统计出版社. 2015.
- Guangdong Provincial Bureau of Statistics. Guangdong Statistical Yearbook 2015 [M]. Beijing:China Statistics Press,2015.
- [18] 郑 晖,石培基,何娟娟. 甘肃省生态足迹与生态承载力动态分析[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(10):13-18.
- Zheng H, Shi P J, He J J. The dynamic analysis on ecological footprint and ecological capacity of Gansu Province [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment. 2013,27(10):13-18.
- [19] 郭秀锐,杨居荣,毛显强. 城市生态足迹计算与分析——以广州为例[J]. 地理研究. 2003,22(5):654-663.
- Guo X R, Yang J R, Mao X Q. Calculation and analysis of urban ecological footprint: A case study of Guangzhou [J]. Geographical Research. 2003,22(5):654-663.
- [20] 李 翔,许兆义,孟 伟. 城市生态承载力研究[J]. 中国安全科学学报. 2005,15(2):3-7.
- Li X, Xu Z Y, Meng W. Research on urban ecological carrying capacity [J]. China Safety Science Journal. 2005,15(2):3-7.
- [21] 谷文明,刘瑞楠,徐太海. 基于生态足迹供给模型的生态承载力评价[J]. 环境科学与管理. 2009,34(1):149-152.
- Gu W M, Liu R N, Xu T H. Evaluation of ecological carrying capacity based on ecological footprint supply model [J]. Environmental Science and Management. 2009,34(1):149-152.
- [22] 向芸芸,蒙吉军. 生态承载力研究和应用进展[J]. 生态学杂志,2012,31(11):2958-2965.
- Xiang Y Y, Meng J J. Research and application advances in ecological carrying capacity [J]. Chinese Journal of Ecology. 2012,31(11):2958-2965.
- [23] 曾 敏. 环渤海地区区域承载力时空评价与预测[D]. 北京:中国地质大学(北京),2006.
- Zeng M. Spatio-temporal Evaluation and Forecasting of Regional Carrying Capacity in Bohai-Bay Region [D]. Beijing:China University of Geosciences (Beijing),2006.

Remote sensing survey and proposal for protection of the natural resources in YueGangAo Bay Area

ZHAO Yuling

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the large quantities of remote sensing data in 2015 and topographic data, the authors studied the interpretation keys and extraction technique of different types of natural resources. In general, the results show

the current situation of the natural resources in Yue Gang Ao Bay Area, such as the shoreline, the mangrove wetlands, the wetlands, the arable land, the garden plot, the forest land, the grassland, the surface water and the desertified lands. The length of the artificial shoreline accounts for 60.34% of the total length of the mainland shoreline, The area of the arable land is 7 820.59 km², whereas the area of the desertified lands is 396.80 km². Statistics of ecological footprint and eco – capacity in 2015 of Yue Gang Ao Bay Area show Haizhu District, Tianhe District, Huangpu District, Panyu District and northwestern Baiyun District of Guangzhou, Nanhai District, Chancheng District and Shunde District of Foshan, northern Dongguan, Baoan District, Nanshan District, Luohu District, Futian District and northwestern Longgang District of Shenzhen, Huiyang District of Huizhou, west Huidong County, Zhongshan, Jianghai District of Jiangmen and Xiangzhou District of Zhuhai are inadequate in ecological footprint in terms of eco – capacity and are weak in eco – function.

Keywords: Yue Gang Ao Bay area; natural resources; remote sensing survey; ecological footprint

(责任编辑: 李 瑜)

DOI: 10.19657/j.geoscience.1000-8527.2018.03.16

基于 GF-1 光谱数据的青藏地区冰川 资源现状遥感调查

安国英¹, 韩磊², 黄树春^{3,4}, 谷延群⁵, 支瑞荣⁵, 郭兆成¹, 童立强¹

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 四川省地质调查院, 四川 成都 610081; 3. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074; 4. 湖南省遥感中心, 湖南 长沙 410007; 5. 河北省地矿局水文工程地质勘察院, 河北 石家庄 050021)

摘要:以2014—2015年的GF-1为主、少量OLI影像为基础,参考第二次中国冰川目录等文献资料,修编完成青海省和西藏自治区两省区的现代冰川编目,查明青藏两省区目前共有冰川24 796条,总面积约 $2.624 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占青藏两省区区域面积的1.37%,冰川储量为 $2.027 \times 10^3 \sim 2.121 \times 10^3 \text{ km}^3$ 。调查区冰川数量以面积 $<1.0 \text{ km}^2$ 、冰川面积介于 $1.0 \sim 10.0 \text{ km}^2$ 之间的冰川为主,其中面积 $<1.0 \text{ km}^2$ 的冰川有19 983条,占总数量的80.59%,面积介于 $1.0 \sim 10.0 \text{ km}^2$ 之间的冰川面积为 $11 962.40 \text{ km}^2$,占总面积的45.59%;面积最大的中峰冰川的面积达 237.37 km^2 。调查区内的山系(高原)均有冰川分布,念青唐古拉山冰川数量最多,其次是喜马拉雅山和冈底斯山,这3座山系冰川数量占调查区内冰川总数量的63.33%;念青唐古拉山、喜马拉雅山和昆仑山的冰川面积和冰储量位列前3位,其冰川面积和冰储量分别占总数的68.09%和73.44%;然而昆仑山和羌塘高原的单条冰川的平均面积大于念青唐古拉山和喜马拉雅山的平均面积。从冰川海拔分布来看,海拔 $5 000 \sim 6 500 \text{ m}$ 之间是冰川集中发育区域,约占调查区冰川数量和冰川总面积的85%以上。调查区的冰川在各流域的分布差异显著,恒河流域是冰川分布数量最多、面积最大的一级外流区,其数量占冰川总量的47%以上,面积占总面积的52%以上;青藏高原内陆流域的冰川数量、面积次之,其冰川数量占总数量的21%,面积占总面积的24%以上,并且内流区单条冰川的平均面积略大于外流区的平均面积。总体上,西藏的冰川数量、面积和冰储量分别占西藏和青海两省区的84.92%、84.92%、86.68%,单条冰川的平均面积两省区相近。

关键词:冰川资源;冰川分布;遥感;冰川编目;青藏地区

中图分类号: P627; P642.5 文献标志码: A 文章编号: 1000-8527(2018)03-0584-11

Remote Sensing Survey of Glaciers Based on GF-1 Spectral Data in the Qinghai-Tibet Region

AN Guoying¹, HAN Lei², HUANG Shuchun^{3,4}, GU Yanqun⁵,
ZHI Ruirong⁵, GUO Zhaocheng¹, TONG Liqiang¹

(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China;
2. Sichuan Institute of Geological Survey, Chengdu, Sichuan 610081, China; 3. China University of Geosciences, Wuhan,
Hubei 430074, China; 4. Remote Sensing Centre of Hunan Province, Changsha, Hunan 410007, China;
5. Hebei Prospecting Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Shijiazhuang, Hebei 050021, China)

Abstract: Based on remote sensing images, including mainly GF-1 and minor OLI in 2014/2015, the glacier inventory of Qinghai Province and Tibet Autonomous Region is completed with reference to the Second Chinese

收稿日期: 2017-10-10; 改回日期: 2017-12-20; 责任编辑: 潘令枝。

基金项目: 中国地质调查局“青藏冰川变化与冰湖溃决灾害遥感综合调查”项目(121201203000160012)。

作者简介: 安国英,女,高级工程师,1966年出生,岩石学、矿物学、矿床学专业,主要从事地质环境与灾害遥感调查、资源勘查及勘查地球化学科研工作。Email: angying@agrs.cn。

引用格式: 安国英,韩磊,黄树春,等. 基于GF-1光谱数据的青藏地区冰川资源现状遥感调查[J]. 现代地质,2018,32(3): 584-594.

AN Guoying, HAN Lei, HUANG Shuchun, et al. Remote Sensing Survey of Glaciers Based on GF-1 Spectral Data in the Qinghai-Tibet Region [J]. Geoscience, 2018, 32(3): 584-594.

Glacier Inventory and other literatures. The results show that there are currently 24,796 glaciers with a total area of about $2.624 \times 10^4 \text{ km}^2$, covering about 1.37% of the land area of the surveyed region. The ice volume is estimated to be about 2.027×10^3 to $2.121 \times 10^3 \text{ km}^3$. These 24,796 glaciers are dominated by those with sizes below 1.0 km^2 (19,983 glaciers, 80.59% of the total number of glaciers) or 1.0 to 10.0 km^2 (11,962.40 km^2 , 45.59% of the total glacial size). The Zhongfeng Glacier is the largest glacier (237.37 km^2). The glaciers are spatially distributed in nine mountains or plateaus: The Nyainqentanglula Mountains contain the largest number of glaciers, followed by the Himalayas and the Gangdese Mountains, which altogether account for 63.33% of the total glacier number in the region. The sizes and ice volumes of the Nyainqentanglula, Himalayas and Kunlun Mountains rank among the top three, accounting for 68.09% of the total size and 73.44% of the total ice volume. The average single glacier size in the Kunlun Mountains and Qiangtang plateau is greater than that in the Nyainqentanglula and the Himalayas. Over 85% of the number or the area of the glaciers is concentrated in the 5,000 m to 6,500 m elevation. Analogously, there is an obvious difference of glacial resources in different drainage basins. On one hand, the Ganges basin is the largest first-level drainage in terms of the number (47% of total) or size (52% of total) of glaciers. On the other hand, the number (21% of total) and size (24% of total) of glaciers in the inner basin of the Qinghai-Tibet Plateau are smaller than those of the Ganges, and the average single glacier size in the inner stream is slightly larger than the average of the outflow basin. In general, the Tibetan glacial resources (in terms of number and size of glacier and ice volume) account for nearly 85% of the total glacial resources in Tibet and Qinghai, and the average single glacial size is similar between the glaciers in Tibet and Qinghai.

Key words: glacier resource; glacier distribution; remote sensing; glacier inventory; Qinghai-Tibet region

0 引言

中国是世界上中低纬度山岳冰川最发育的国家。2012年完成的第二次冰川编目中代表21世纪初期中国冰川的分布状况,显示中国共有冰川48 571条,总面积约 $5.18 \times 10^4 \text{ km}^2$,冰储量 $4.3 \times 10^4 \sim 4.7 \times 10^4 \text{ km}^3$ ^[1],与代表20世纪60—80年代第一次冰川编目结果(中国有冰川46 377条,总面积约 $5.94 \times 10^4 \text{ km}^2$,冰储量 $5\ 600 \text{ km}^3$ ^[2])相比,已经发生较大变化。第二次冰川编目统计显示,青海和西藏两省区的冰川数量、冰川面积和冰储量约占全国冰川总数量、面积及冰储量的1/2以上,其中西藏的冰川数量和面积均列第一,而冰储量略低于新疆;青海的冰川数量和规模仅次于西藏和新疆而位居第3。冰川作为重要的固体水资源,主要的大江、大河都有冰川融水补给,尤其是西北干旱区的水资源很大程度上依赖于冰川融水,因此冰川与冰冻圈的研究一直以来备受中国政府和学术界关注^[2-5]。

从20世纪70年代以来,随着航空摄影、遥感光学影像、雷达、激光测高、数字高程模型等技术的进步和发展,采用遥感和地理信息相结合

的技术已成为冰川研究的重要方法。例如,对于现代冰川的考察研究,由过去的单条冰川深入到区域性全面的编目与冰川的变化监测,从冰川雪线变化、冰心、冰川能量平衡等到冰川变化与水文、气象关系等多个方面观测^[6-11];对冰川变化的研究,从单体冰川定位监测、区域考察到不同时相的遥感影像或航片资料对比;对冰川资源的评价由定性、半定量到定量,从面积变化到高程变化进而确定厚度变化及冰储量等^[12-13]。冰川研究所使用的遥感信息,由航摄的黑白航片到彩色航片,及Landsat MSS、TM/ETM+、ASTER、SPOT、IKONOS、ALOS PALSAR、SRTM、GDEM、InSAR等多种数据类型^[6,12-18],目前国内外的多家机构免费共享的光学和微波遥感数据,如TM/ETM+, ASTER、HJ-1A/B、ERS-1/2、ENVISAT、PALSAR等,为冰川变化监测提供了重要的数据基础^[16-17]。而美国2013年2月11日发射的LandSat 8 OLI卫星数据,弥补自2003年5月31日LandSat 7机载扫描校正仪发生故障而中断的大面积冰川卫星监测共享数据。中国同年4月26日发射的GF-1卫星,除用于精细探测局部的环境污染状况,还可用于水、大气环境和生态环境质量等

大范围的宏观监测与评价^[19], 截至目前还没见使用该数据对冰冻圈进行调查分析的成果发表。

在全球气候变暖, 高海拔地区特别是热带高海拔地区变暖趋势更为明显的背景下, 冰川普遍退缩, 由冰川变化引发的灾害事件增多, 冰湖溃决造成突发性洪水和泥石流等灾害也成为高海拔地区危害严重的地质灾害类型之一^[4,20-21]。为落实防灾、减灾和生态环境文明建设, 2016 年, 中国地质调查局实施“青藏冰川变化与冰湖溃决灾害遥感综合调查”项目, 旨在充分认识青藏地区冰川与冰湖分布及变化状况, 为国土空间管控提供基础数据支持, 项目任务之一就是完成三期青藏地区冰川与冰湖编目, 以认清青藏地区冰川、冰湖动态变化。本文基于上述项目工作成果, 选用国产卫星 GF-1 光谱数据开展遥感调查, 以青海和西藏的冰川分布为例, 对该区最新冰川分布情况进行分析和总结, 提供国产卫星在冰川学领域的应用实例, 可以为同行和其他研究者提供参考。

1 调查区概况

调查区位于西藏和青海 2 省区, 地理坐标为 $78^{\circ}24' - 103^{\circ}55'E$, $26^{\circ}48' - 39^{\circ}12'N$, 面积约 192 万 km^2 。其地势总体是西高东低, 由北西南东倾斜, 西藏自治区平均海拔在 4 000 m 以上^[22], 青海省平均海拔在 3 000 m 以上^[23]。区内主体为高原山地地形, 在高原山地中夹有宽谷盆地和山间

谷地, 山地包括昆仑山山系、祁连山山系、唐古拉山山系、念青唐古拉山山系、冈底斯山山系、喜马拉雅山山系等多条长度在 1 000 km 以上的山脉, 其海拔在 5 000 m 以上大都终年积雪, 冰川广布, 是中国主要的冰川分布区。中国三类冰川, 海洋型、亚大陆型和极大陆型冰川^[2], 从调查区南部、东南部向北部、西北部均有发育。

2 使用数据与方法

2.1 数据源简介

GF-1 卫星搭载了具有 60 km 幅宽的两台 2 m 分辨率全色/8 m 分辨率多光谱相机以及 800 km 幅宽的四台 16 m 分辨率多光谱相机, 是典型的高时间分辨率(宽覆盖)遥感卫星^[19], 其中 16 m 分辨率的数据有 4 个波段, 覆盖周期 4 天, 可用于大范围内的冰川监测(图 1(a))。

Landsat-8 卫星, 是美国陆地探测卫星系列的后续卫星。装备有陆地成像仪(Operational Land Imager, 简称“OLI”)和热红外传感器(Thermal Infrared Sensor, 简称“TIRS”)。OLI 有 9 个波段的感应器, 覆盖了从红外到可见光的波长范围。与 Landsat-7 卫星的 ETM+ 传感器相比, OLI 增加的蓝色波段($0.433 \sim 0.453 \mu m$)和短波红外波段(band 9, $1.360 \sim 1.390 \mu m$), 还用于海岸带观测和云检测^[24]。Landsat 系列卫星数据, 曾是全球冰

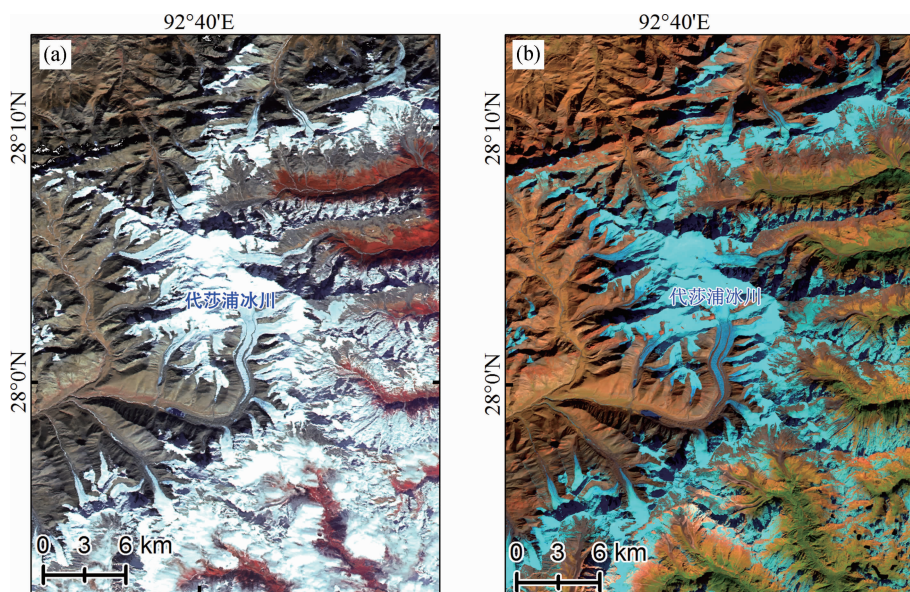


图 1 不同遥感影像对比(局部)图

Fig. 1 Comparison of GF-1 image and OLI image of glaciers (in part)
(a) GF-1 影像图(由波段 4、3、2 合成); (b) OLI 影像图(由波段 7、4、1 合成)

表1 青藏地区调查工作使用的影像时间

Table 1 Image schedules used in the survey of the Qinghai-Tibet region

获取时间	数量/景	获取时间	数量/景	获取时间	数量/景	获取时间	数量/景	获取时间	数量/景
2014-01	14	2014-04	4	2014-07	5	2014-11	12	2015-01	1
2014-02	2	2014-05	16	2014-08	3	2014-12	23	2015-03	1
2014-03	2	2014-06	22	2014-09	10			2015-11	1

冻圈冰川监测的主要数据^[14-20] (图1(b))。

2.2 使用数据

本次调查工作使用的数据有卫星影像、数字高程模型数据及“中国第二次冰川编目”矢量数据等。其中 GF-1 和 OLI 卫星遥感影像, 用于提取冰川边界; SRTM V4 数据作为 DEM 模型数据, 用于复合冰川面积的分割与冰川几何参数提取; 冰川编码依据“中国第二次冰川编目”。而本次调查使用 GF-1 影像 114 景、OLI 影像 3 景, 包括 2014 年 114 景, 2015 年 3 景。数据选取原则: (1) 以空间分辨率为 16 m 的 GF-1 影像为主, 以 OLI 影像为补充, 并以在线的 Google Earth 影像、OLI 影像等作为参考; (2) 数据时相, 首选夏秋时节, 由于工作区范围大, 实际使用影像各季节均有 (表 1); (3) 总体数据云、雾覆盖率 < 10%, 阴影较少、色调层次分明, 经处理后满足工作需要。本次数据, 总体上可解译程度较高, GF-1 影像质量尚好, 可清晰识别冰川, 色彩层次丰富, 但细节较 OLI 模糊, 藏东南个别地区积雪覆盖率 < 15%; OLI 数据质量较好, 纹理清晰, 云、雪覆盖少, 积雪覆盖普遍 < 10% (图 1)。

2.3 研究方法

首先, 使用软件系统对卫星影像数据进行自动化处理, 输出用于解译的数字高程模型、正射影像等产品, 并将投影设定为 Albers 正轴等积双标准纬线割圆锥投影, WGS84 坐标系, 以便准确计算各条冰川面积参数。其次, 提取冰川边界, 采用人工目视解译, 勾绘冰川分布区边界 (图 2); 对于含有表碛覆盖的冰川, 在有经验的冰川专家指导下, 消除内部岛状冰碛物, 辨别冰川末端和侧碛垄位置。再其次, 借助 GIS 技术利用流域边界水文地质特征和坡向差自动提取山脊线, 并经过人工修正获取冰川区山脊线矢量作为分冰岭 (图 3), 划分出单条冰川 (图 4), 完成冰川矢量边界提取。

在提取单条冰川后, 参考“中国第二次冰川编目”中的冰川编码, 逐条进行属性信息的编录, 包括冰川编码、山系、流域编码、行政区域信息及

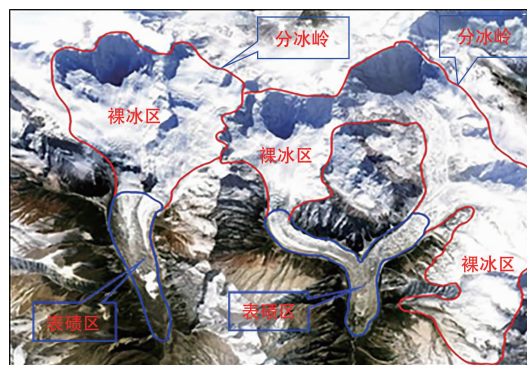


图2 影像图上勾绘冰川边界

Fig. 2 Glacial boundaries delineated on remote sensing image

由 GIS 软件提取的几何参数和计算结果, 如面积、冰储量、周长、朝向、坡度、平均高程、最大高程、最小高程、中值面积高程等数据, 还填写了数据源、影像采集时间和提取人、审核人等字段信息。其中, 冰储量计算方法采用“中国第二次冰川编目”使用的由 Radig 和 Hock^[25]、Grinsted^[26] 提出的计算方法, 本文中冰储量为上述两种算法的统计结果。

$$V = 0.0365A^{1.375} \quad (1)$$

$$V = 0.0433A^{1.29} \quad (2)$$

式中: V 为冰川冰储量, km^3 ; A 为冰川面积, km^2 。

最后, 完成冰川边界提取与分割、属性信息录入后, 经过外业查证后, 修订疑似的侧碛垄冰川边界, 完善冰川遥感调查工作。本次调查工作采用的最小面积基于影像数据分辨率 16 m/像元计算, 提取最小冰川面积为 0.0002 km^2 。

3 结果与讨论

3.1 青藏地区冰川分布与规模

据本次调查统计, 青藏地区冰川条数共 24 796 条, 面积 $26\,238.25 \text{ km}^2$, 冰储量 $(2\,074.13 \pm 47.07) \text{ km}^3$ 。其中, 青海有冰川 3 738 条, 冰川总面积为 $3\,957.92 \text{ km}^2$, 冰储量为 $(276.19 \pm 0.31) \text{ km}^3$; 西藏有冰川 21 058 条, 冰川总面积为 $22\,280.33 \text{ km}^2$, 冰储量为 $(1\,797.94 \pm 46.76) \text{ km}^3$; 青海冰

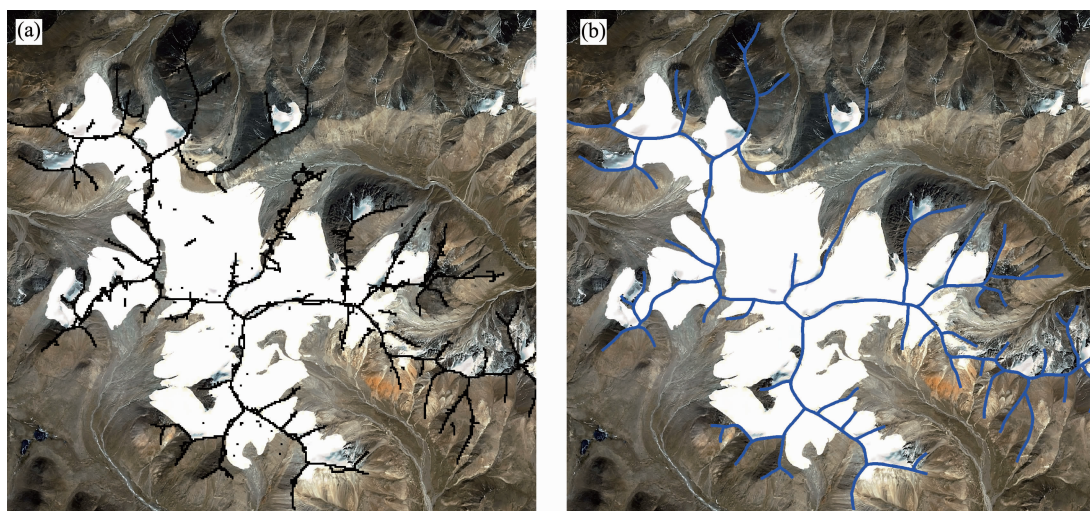


图3 分冰岭自动提取与人工修正结果比对

Fig. 3 Comparison between the ice ridge via automatic extraction and the artificial revision

(a) 自动提取分冰岭; (b) 经人工修正分冰岭

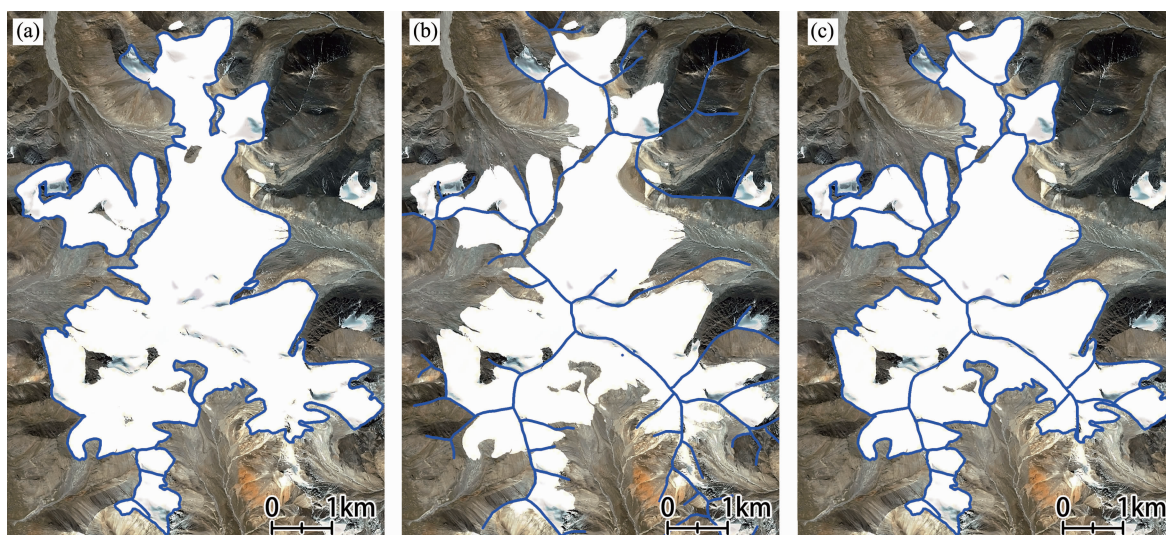


图4 分冰岭分割单条冰川过程

Fig. 4 Images of a single glacier divided by ice ridges

(a) 复合冰川边界; (b) 以山脊线作为分冰岭; (c) 划分成单条冰川

川数量和面积占总数量的 15.08%，而冰储量占总数的 13.32%，略低于冰川数量、面积占比。就单体冰川而言，这两个地区的平均面积接近，最小面积也接近，最大面积的冰川出现在西藏的昆仑山。与第二次冰川编目相比，两地区冰川总量呈减少趋势；所占比例上，西藏的冰川总体上有所减少，青海略有增加(表 2)。

从调查区冰川面积规模等级组成(表 3)可以看出，随着冰川面积等级的增大，冰川数量、面积和冰储量呈先增加后减少趋势。青藏地区冰川数量以面积 $< 1.0 \text{ km}^2$ 的冰川为主，共 19 983 条，约占冰川总数的 80.59%，其面积占总面积

的 19.88%，冰储量不足总储量的 8%，其中面积 $< 0.1 \text{ km}^2$ 的冰川数量占总数的 26.19%，冰川面积占总面积的 1.27%，冰储量仅占总储量的 0.26%；面积介于 $1.0 \sim 10.0 \text{ km}^2$ 的冰川面积最大，占总面积的 45.59%，冰储量占总储量的 34.95%，位列第二；面积介于 $10 \sim 100 \text{ km}^2$ 冰川数量有 366 条，仅占总数的 1.48%，面积和冰储量分别占总面积的 30.43% 和总冰储量的 46.22%；冰川面积 $\geq 100 \text{ km}^2$ 的冰川数量只有 7 条，占总面积的 4.10%，其冰储量占到总冰储量的 11.28%。与“中国第二次冰川编目”结果相比，各等级面积的冰川数量所占比例近似；从各

表 2 青藏地区现代冰川信息统计
Table 2 Statistics of modern glaciers in the Qinghai-Tibet region

	冰川数量		冰川面积		冰储量		单体冰川面积/km ²		
	数量/条	占比/%	面积/km ²	占比/%	冰储量/km ³	占比/%	平均值	最大值	最小值
青海	3 738	15. 08	3 957. 92	15. 08	276. 19 ± 0. 31	13. 32	1. 058 8	87. 07	0. 004 8
西藏	21 058	84. 92	22 280. 33	84. 92	1 797. 94 ± 46. 76	86. 68	1. 058 0	237. 37	0. 005 2
总计	24 796	100. 00	26 238. 25	100. 00	2 074. 13 ± 47. 07	100. 00	1. 058 2	237. 37	0. 004 8
青海*	3 803	14. 81	3 936. 75	14. 21	274. 77 ± 0. 32	12. 16	1. 035 2	83. 94	0. 010 3
西藏*	21 872	85. 19	23 795. 41	85. 79	1 984. 70 ± 61. 21	87. 84	1. 087 9	237. 46	0. 010 0
总计*	25 675	100. 00	27 732. 16	100. 00	2 259. 47 ± 61. 48	100. 00	1. 080 1	237. 46	0. 010 0

注：“*”数据根据“中国第二次冰川编目”数据库信息统计。

表 3 青藏地区不同规模冰川信息统计
Table 3 Statistics of glacier areas in the Qinghai-Tibet region

规模/km ²	冰川数量			冰川面积			冰储量		
	数量/条	占比/%	占比*/%	面积/km ²	占比/%	占比*/%	冰储量/km ³	占比/%	占比*/%
<0. 1	6 495	26. 19	26. 06	333. 82	1. 27	1. 24	5. 33 ± 1. 07	0. 26	0. 22
0. 1 ~ 1. 0	13 488	54. 40	55. 37	4 882. 71	18. 61	18. 27	151. 27 ± 17. 46	7. 29	6. 48
1. 0 ~ 10	4 440	17. 91	17. 08	11 962. 40	45. 59	42. 36	724. 99 ± 20. 83	34. 95	29. 37
10 ~ 100	366	1. 48	1. 44	7 983. 93	30. 43	30. 44	958. 59 ± 55. 90	46. 22	43. 24
> 100	7	0. 03	0. 04	1 075. 38	4. 10	7. 69	233. 94 ± 30. 52	11. 28	20. 69
总计	24 796	100. 00	100. 00	26 238. 25	100. 00	100. 00	2 074. 13 ± 47. 07	100. 00	100. 00

注：“占比*”的数据引自刘时银等^[1]，不同冰川面积分级的数据所占百分比合并计算。

表 4 青藏地区面积大于 86 km² 的现代冰川信息对比
Table 4 Statistics of modern glaciers with area over 86 km² in the Qinghai-Tibet region

名称	所处山系	长度/km	面积/km ²	冰储量/km ³	物理类型	所属流域	末端高程/m	冰川形态	所在省区
中峰冰川	昆仑山	26. 675	237. 37	58. 79 ± 8. 58	极大陆型	阿克赛钦湖	5 350. 7	冰帽	西藏
雅弄冰川	念青唐古拉山	31. 116	170. 91	37. 88 ± 5. 01	海洋型	雅鲁藏布江	3 987. 4	山谷冰川	西藏
恰青冰川	念青唐古拉山	37. 454	167. 84	36. 97 ± 4. 86	海洋型	雅鲁藏布江	2 682. 5	山谷冰川	西藏
崇测冰川	昆仑山	25. 642	166. 26	36. 50 ± 4. 79	极大陆型	阿克赛钦湖	5 305. 3	冰帽	西藏
夏曲冰川	念青唐古拉山	22. 874	113. 34	21. 86 ± 2. 52	海洋型	雅鲁藏布江	3 150. 9	山谷冰川	西藏
古里雅冰川	昆仑山	16. 712	111. 88	21. 49 ± 2. 46	极大陆型	阿克赛钦湖	5 487. 3	冰帽	西藏
弓形冰川	昆仑山	18. 291	107. 78	20. 44 ± 2. 31	极大陆型	阿克赛钦湖	5 360. 8	冰帽	西藏
喜日弄浦冰川	念青唐古拉山	19. 569	96. 10	17. 54 ± 1. 90	海洋型	雅鲁藏布江	4 277. 5	山谷冰川	西藏
莫诺马哈冰川	昆仑山	17. 670	87. 07	15. 37 ± 1. 60	极大陆型	柴达木内陆	4 898. 6	山谷冰川	青海
增冰川	喜马拉雅山	25. 323	86. 49	15. 23 ± 1. 58	亚大陆型	雅鲁藏布江	5 312. 5	山谷冰川	西藏

等级的冰川面积所占比例得知，面积 ≥ 100 km² 的冰川显著减少，面积介于 1. 0 ~ 10. 0 km² 之间的冰川比例有所增加，其他等级冰川占比近似；而冰储量方面，面积 ≥ 100 km² 冰川的冰储量比例在减少，面积 < 100 km² 冰川的冰储量比例却在增加。

如表 4 所示，调查区内面积最大的 10 条冰川，单条冰川面积 ≥ 86. 0 km²，总面积为 1 345. 04 km²，占区内冰川总面积的 5. 13%；冰储量为 (282. 08 ± 35. 61) km³，占总冰储量的 13. 60%。

这几条巨大的冰川集中分布在昆仑山、念青唐古拉山，其中分布在昆仑山南坡的中峰冰川是调查区中面积最大的冰川，面积为 237. 37 km²。这 10 条冰川中有 7 条冰川面积超过 100 km²，与“中国第二次冰川编目”成果中调查区内面积 ≥ 100 km² 的 8 条冰川相比^[1]，已经减少了 1 条，即那龙冰川面积发生巨大的变化，已经小于 100 km²。

3. 2 各山系(高原)冰川分布

调查区自北向南依次发育有祁连山、喀喇昆仑山、昆仑山、羌塘高原、唐古拉山、冈底斯

山、念青唐古拉山、喜马拉雅山和横断山等 9 座山系(高原), 这些山脉或山峰的绝对海拔高度及冰川平衡线以上的相对高差, 为冰川形成提供了广阔的积累空间和水热条件, 从而成为冰川集中分布的区域。以 500 m 为间距, 将冰川平均高程划分为不同的高程区间, 分别对冰川数量、面积和冰储量等进行统计(表 5 和图 5(a)), 查明 5 000~5 500 m 海拔区间的冰川数量、面积和冰储量分别占总数的 32.48%、33.29% 和 31.67%; 而 5 500~6 000 m 海拔区间的冰川数量、面积和冰储量分别占总数的 45.09%、39.06% 和 36.72%, 冰川规模最大; 而 6 000~6 500 m 海拔区间冰川数量、面积和冰储量分别占 12.06%、14.64% 和 19.21%。这三个海拔区间, 冰川数量、面积和冰储量分别占总量的 89.63%、86.99% 和 87.60%。可见, 青藏地区 5 000~6 500 m 之间是冰川集中发育区域, 占冰川总量的 85% 以上。海拔 4 000 m 以下的地区受

气温影响不利于冰川发育, 而 6 500 m 以上由于山地面积较小, 冰川面积相应也较少, 这两个区域的冰川数量之和占总数量的 0.25%, 冰川面积总和也仅占冰川总面积的 0.10%。从单条冰川看, 在 4 500~5 000 m 的海拔区间, 平均面积最大, 为 1.38 km²; >6 500 m 海拔区间, 平均面积最小, 仅为 0.27 km²。以中值面积高程为例, 统计各山系(高原)中冰川的分布范围, 如图 5(b)所示。喜马拉雅山和念青唐古拉山海拔分布范围最大, 冰川数量众多; 其次是冈底斯山、横断山和昆仑山, 羌塘高原和横断山近似; 唐古拉山和昆仑山分布范围最小。冰川发育和规模受多重因素制约, 山地海拔和高海拔地区的宽展程度是冰川存在的必要条件, 热量和水分条件组合是冰川发育的物质基础。低纬度地区山脉的冰川, 只能在较高的海拔范围存在, 有丰富的降水能维持冰川向较低海拔延伸; 纬度高、温度低和较丰富的降水极有利于冰川发育。

表 5 青藏地区现代冰川的平均高程分布信息统计

Table 5 Statistics of modern glaciers at different altitudes in the Qinghai-Tibet region

平均高程/m	数量		面积		冰储量		单条冰川		
	数量/条	占比/%	面积/km ²	占比/%	冰储量/km ³	占比/%	平均值/km ²	最大值/km ²	最小值/km ²
3 500~4 000	20	0.08	16.88	0.06	1.12±0.01	0.05	0.844 2	10.42	0.086 9
4 000~4 500	199	0.80	184.75	0.70	11.02±0.23	0.53	0.928 4	18.19	0.030 2
4 500~5 000	2 312	9.32	3 201.34	12.20	244.59±3.60	11.79	1.384 7	113.34	0.005 4
5 000~5 500	8 053	32.48	8 734.88	33.29	656.84±11.25	31.67	1.084 7	170.91	0.004 8
5 500~6 000	11 180	45.09	10 247.75	39.06	761.61±8.53	36.72	0.916 6	87.07	0.005 2
6 000~6 500	2 990	12.06	3 841.34	14.64	398.53±23.96	19.21	1.284 7	237.37	0.007 4
>6 500	42	0.17	11.30	0.04	0.43±0.03	0.02	0.269 0	3.01	0.016 1
总计	24 796	100.00	26 238.25	100.00	2 074.13±47.07	100.00	1.058 2	237.37	0.004 8

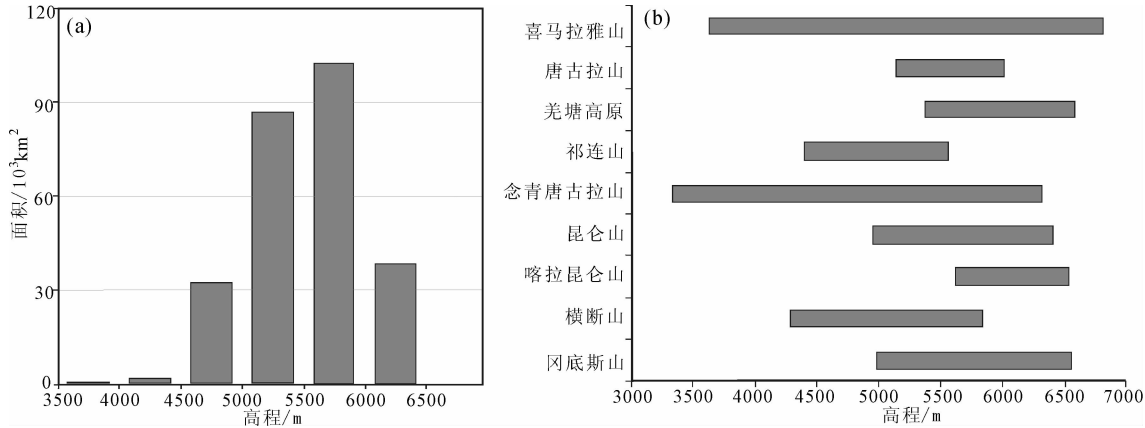


图 5 青藏地区不同高程冰川面积分布(a)及山系冰川高程分布范围(b)

Fig. 5 Distribution of glacial sizes at different altitudes (a) and elevations of modern glaciers in mountain ranges (b) in the Qinghai-Tibet region

表6 青藏地区现代冰川在各山系的分布信息统计
Table 6 Statistics of modern glaciers on the Qinghai-Tibetan mountains

行标签	数量		面积		冰储量		单条冰川		
	数量/条	占比/%	面积/km ²	占比/%	储量/km ³	占比/%	平均值/km ²	最大值/km ²	最小值/km ²
冈底斯山	3 865	15.59	1 296.25	4.94	55.85 ± 3.48	2.69	0.335 4	21.54	0.007 4
横断山	1 198	4.83	829.66	3.16	41.35 ± 1.94	1.99	0.692 5	15.94	0.011 2
喀喇昆仑山	1 746	7.04	1 529.00	5.83	105.25 ± 0.30	5.07	0.875 7	47.89	0.005 2
昆仑山	2 059	8.30	3 214.35	12.25	353.67 ± 24.08	17.05	1.561 1	237.37	0.010 2
念青唐古拉山	6 364	25.67	8 394.54	31.99	691.37 ± 19.68	33.33	1.319 1	170.91	0.010 3
祁连山	1 136	4.58	831.29	3.17	46.44 ± 1.45	2.24	0.731 8	20.02	0.004 8
羌塘高原	1 468	5.92	2 056.13	7.84	162.79 ± 2.63	7.85	1.400 6	68.75	0.010 3
唐古拉山	1 488	6.00	1 829.41	6.97	139.27 ± 1.63	6.71	1.229 4	54.15	0.012 4
喜马拉雅山	5 472	22.07	6 257.63	23.85	478.15 ± 6.24	23.05	1.143 6	86.49	0.009 5
总计	24 796	100.00	26 238.25	100.00	2 074.13 ± 47.07	100.00	1.058 2	237.37	0.004 8

调查区各山系的冰川统计(表6)显示,喜马拉雅山和念青唐古拉山冰川数量均在5 000条以上,这2座山系共分布冰川11 836条,面积总计14 652.17 km²,分别占调查区冰川数量、面积相应总量的47.74%和55.84%,冰储量占总量的56.39%。冈底斯山中的冰川数量为3 865条,占总数量的15.59%,居第三位,但是冰川面积不足总面积的5%,平均面积最小,仅有0.34 km²,是冰川平均面积最小的山系;昆仑山冰川面积居第三位,占总面积的18.92%,且平均面积最大可达1.56 km²。羌塘高原冰川数量和面积不如前几者,但深居青藏高原腹地,该区域分布若干海拔6 000 m以上的较为平坦的山峰,致使冰川平均面积达1.40 km²,位居第二。喜马拉雅山虽然非常高峻,但山脊较狭窄而限制了冰川扩展,冰川平均面积只有1.14 km²,比总体平均规模略高。冰川数量或面积最少的3座山系分别为冈底斯山、横断山和祁连山,没有冰川面积大于25 km²的冰川,且冰川平均规模均在0.75 km²以下。

3.3 各流域冰川数量与分布

调查区覆盖了8个一级流域(表7),分属内流区和外流区。根据统计,外流区和内流区的冰川数量分别为17 225条和7 571条,相应的面积为17 876.92 km²和8 361.33 km²,分别占冰川总面积的68.13%和31.87%,相应的冰储量为(1 358.10 ± 22.28) km³和(716.03 ± 24.79) km³,分别占总储量的65.48%和34.52%。中国境内的恒河流域,冰川数量最多,面积、冰储量亦最大,分别占冰川总量的47.87%、52.75%

和52.29%。其次是内流区的青藏高原内陆冰川数量、面积和冰储量,分别占冰川总量的21.89%、24.75%和28.81%;冰川分布数量最少和冰川规模最小的黄河流域,仅有冰川161条,面积128.24 km²,冰储量(8.67 ± 0.03) km³。从冰川平均面积来看,长江流域平均面积1.27 km²,为最大;其次是青藏高原内流区,平均面积约1.20 km²,与恒河流域平均面积1.17 km²接近;中国境内印度河上游冰川平均面积最小,分别为0.44 km²,其他流域介于1.17~0.44 km²之间。

从一级流域冰川规模等级组成(表8)得知,除印度河流域冰川数量以面积<0.1 km²居多之外,其他流域均以面积为0.1~1.0 km²的冰川数量最多;除黄河流域冰川面积以10.0~100.0 km²最多外,其他流域冰川面积以1.0~10.0 km²为最多;冰川面积≥100 km²的7条冰川,其中青藏高原内流区分布有4条,均分布在阿克赛钦湖二级流域,恒河流域分布有3条,也是集中分布在雅鲁藏布江二级流域内(表4)。黄河、湄公河和印度河3个流域,没有面积≥50.0 km²的冰川分布,其中湄公河流域仅有3条冰川的面积>10 km²,单条冰川面积均小于16.0 km²,共森龙巴冰川最大,面积仅为15.94 km²;黄河流域有3条面积≥10.0 km²的冰川,哈龙冰川最大,面积为20.74 km²。萨尔温江流域有2条面积>50 km²的冰川,即若果冰川,其面积为57.38 km²,以及麻果龙冰川,其面积为51.76 km²;恒河流域的冰川,有5条面积>86 km²,15条面积>50 km²;印度河流域有3条面积>50 km²的冰川。

表 7 青藏地区现代冰川在不同流域的分布信息统计

Table 7 Statistics of modern glaciers in different drainage basins of the Qinghai-Tibet region

流域	数量		面积		冰储量		单条冰川		
	数量/条	占比/%	面积/km ²	占比/%	冰储量/km ³	占比/%	平均值/km ²	最大值/km ²	最小值/km ²
黄河	161	0.65	128.24	0.49	8.67 ± 0.03	0.42	0.796 5	20.74	0.011 1
长江	891	3.59	1 132.81	4.32	82.39 ± 0.46	3.97	1.271 4	54.15	0.013 0
外 湄公河	468	1.89	269.18	1.03	13.96 ± 0.54	0.67	0.575 2	15.94	0.010 2
流 萨尔温江	2 133	8.60	1 762.45	6.72	122.10 ± 0.63	5.89	0.826 3	57.38	0.011 2
区 恒河	1 1870	47.87	13 839.65	52.75	1 084.54 ± 22.14	52.29	1.165 9	170.91	0.009 5
印度河	1 702	6.86	744.58	2.84	46.44 ± 0.38	2.24	0.437 5	48.67	0.008 1
小计	17 225	69.47	17 876.92	68.13	1 358.10 ± 22.28	65.48	1.037 8	170.91	0.008 1
东亚内	2 143	8.64	1 866.30	7.11	118.40 ± 1.16	5.71	0.870 9	87.07	0.004 8
流域									
区 青藏高原内陆	5 428	21.89	6 495.03	24.75	597.64 ± 25.95	28.81	1.196 6	237.37	0.005 2
小计	7 571	30.53	8 361.33	31.87	716.03 ± 24.79	34.52	1.104 4	237.37	0.004 8
总计	24 796	100.00	26 238.25	100.00	2 074.13 ± 47.07	100.00	1.058 2	237.37	0.004 8

表 8 青藏地区一级流域冰川规模分布信息统计

Table 8 Statistics of glaciers in the first-level drainage basins in the Qinghai-Tibet region

规模/km ²	黄河		长江		湄公河		萨尔温江	
	数量/条	面积/km ²	数量/条	面积/km ²	数量/条	面积/km ²	数量/条	面积/km ²
<0.1	48	2.67	143	8.72	122	7.03	447	27.76
0.1 ~ 1.0	87	27.23	528	204.04	278	84.46	1 345	458.30
1.0 ~ 10	23	46.88	201	540.52	65	137.41	321	773.66
10 ~ 100	3	51.47	19	379.54	3	40.28	20	502.74
>100	0	0	0	0	0	0	0	0
总计	161	128.24	891	1 132.81	468	269.18	2 133	1 762.46

规模/km ²	恒河		印度河		东亚内流域		青藏高原内陆	
	数量/条	面积/km ²	数量/条	面积/km ²	数量/条	面积/km ²	数量/条	面积/km ²
<0.1	2 544	137.40	880	38.71	538	28.66	1 773	82.87
0.1 ~ 1.0	6 725	2 509.24	700	216.02	1 187	431.12	2 638	952.30
1.0 ~ 10	2 406	6 495.74	111	293.79	401	1 078.80	912	2 595.62
10 ~ 100	192	4 245.19	11	196.06	17	327.71	101	2 240.95
>100	3	452.09	0	0	0	0	4	623.29
总计	11 870	13 839.66	1 702	744.58	2 143	1 866.30	5 428	6 495.03

3.4 各行政区中冰川数量与分布

本次调查显示(表 9), 西藏 7 个市(地区)均有冰川分布, 阿里、林芝、日喀则地区是冰川主要分布区域, 占青藏地区冰川规模的 50% 以上, 其中阿里地区冰川数量最多, 为 5 964 条, 冰川面积为 5 274.38 km², 冰储量为 (479.30 ± 21.80) km³, 但冰川面积略小于林芝地区的 5 640.47 km²; 其次为日喀则, 冰川数量为 4 135 条, 冰川面积为 3 855.64 km², 冰储量 (287.54 ± 3.24) km³, 略少于林芝地区的面积和冰储量; 拉萨有 754 条冰川, 冰川面积为 466.53 km², 冰储量为

(24.90 ± 0.87) km³, 是西藏境内最小的冰川发育区。就单体冰川而言, 林芝地区的平均面积最大, 约为 1.42 km²; 其次为昌都地区, 为 1.28 km²; 拉萨的平均面积最小, 仅为 0.62 km²。

青海境内的冰川相对较少, 最大的冰川是发育在布喀达坂峰(又称新青峰)南坡的莫诺马哈冰川, 面积为 87.07 km²。青海省境内冰川主要分布在海西、玉树、海北、果洛和海南 5 个自治州, 其中海西州冰川数量 2 239 条, 冰川面积 2 628.83 km², 冰储量 (183.34 ± 0.13) km³, 分别占青海冰川总量的 59.88%、66.42% 和 66.38%; 其次是玉树

表9 青藏地区不同地区现代冰川信息统计

Table 9 Statistics of modern glaciers in the districts of the Qinghai-Tibet region

行政区划	冰川数量		冰川面积		冰储量		单条冰川		
	数量/条	占比/%	面积/km ²	占比/%	冰储量/km ³	占比/%	平均值/km ²	最大值/km ²	最小值/km ²
果洛州	94	0.38	108.03	0.41	7.96 ± 0.04	0.38	1.149 2	20.738	0.011 1
海北州	315	1.27	90.88	0.35	3.12 ± 0.30	0.15	0.288 5	2.978	0.009 2
海南州	6	0.02	0.71	0	0.02	0	0.118 5	0.211	0.049 2
海西州	2 239	9.03	2 628.83	10.02	183.34 ± 0.13	8.84	1.174 1	54.150	0.004 8
玉树州	1 084	4.37	1 129.47	4.30	81.76 ± 0.71	3.94	1.041 9	87.073	0.010 2
小计	3 738	15.07	3 957.92	15.08	276.19 ± 0.31	13.32	1.058 8	87.073	0.004 8
阿里地区	5 964	24.05	5 274.38	20.10	479.30 ± 21.80	23.11	0.884 4	237.374	0.005 2
昌都	1 896	7.65	2 420.71	9.23	240.06 ± 13.04	11.57	1.276 7	170.912	0.011 2
拉萨	754	3.04	466.53	1.78	24.90 ± 0.87	1.20	0.618 7	27.413	0.010 2
林芝	3 979	16.05	5 640.47	21.50	423.26 ± 5.56	20.41	1.417 6	167.841	0.014 5
那曲	2 587	10.43	2 698.95	10.29	203.63 ± 2.93	9.82	1.043 3	65.742	0.010 3
日喀则	4 135	16.68	3 855.64	14.69	287.54 ± 3.24	13.86	0.932 4	73.157	0.007 4
山南地区	1 743	7.03	1 923.65	7.33	139.26 ± 1.07	6.71	1.103 6	86.492	0.009 5
小计	21 058	84.92	22 280.33	84.92	1 797.94 ± 46.76	86.68	1.058 0	237.374	0.005 2
总计	24 796	100.00	26 238.25	100.00	2 074.13 ± 47.07	100.00	1.058 2	237.374	0.004 8

州,冰川数量为1 084条,冰川面积1 129.47 km²,冰储量(81.76 ± 0.71) km³,分别占青海冰川总量的29.0%、28.54%和29.60%;海南州冰川规模最小,仅分布有6条小冰川,总面积也仅为0.71 km²。就单条冰川平均面积而言,海西州冰川面积最大,为1.17 km²;果洛州次之,为1.15 km²;海南州的平均面积最小,仅为0.12 km²。中国的长江和黄河均发源于青海省的冰川区,冰川融水对于补给江河上游径流具有重要意义,而环绕柴达木盆地山脉上的冰川对于该区农业和石油化工的发展具有重要的经济价值^[1]。

4 结 论

(1)截至2014年底,青藏地区有面积≥0.000 2 km²的冰川24 796条,总面积约2.624 × 10⁴ km²,约占青藏地区总面积的1.37%,冰川储量为2.027 ~ 2.121 × 10³ km³,其中分布西藏的冰川数量和面积占84.92%、84.92%,冰储量约占86.68%,基本反映了青藏地区的现代冰川现状。

(2)青藏地区冰川数量以面积<1.0 km²的冰川为主,约占冰川总数的80.59%;面积以介于1.0 ~ 10.0 km²的冰川为主,占冰川总面积的45.59%;其次面积为10 ~ 100 km²的冰川,所占比例为30.43%,位居第二;面积>100.0 km²的冰川共7条,其中面积最大的中峰冰川面积为237.37 km²,分布在昆仑山峰的南坡。

(3)青藏地区9座山系(高原)均有冰川分布,海拔5 000 ~ 6 500 m之间是冰川集中发育区域,占冰川总面积的85%以上。喜马拉雅山和念青唐古拉山2座山系发育了11 836条冰川,面积为14 652.17 km²,冰储量(1 169.52 ± 25.92) km³,分别占冰川相应总量的47.74%、55.84%和56.39%。冰川数量、面积和冰储量最少的山系是横断山和祁连山,分别占调查区冰川数量、面积和冰储量相应总量的9.41%、6.33%和4.23%。昆仑山冰川平均面积最大,为1.56 km²;冈底斯山冰川平均面积最小,仅为0.34 km²。

(4)青藏地区外流区冰川数量和面积均多于内流区,分别约占冰川总面积的68.13%和31.87%。恒河外流区是冰川分布数量最多、面积和冰储量最大的一级流域;其次是青藏高原内流区。这两个区域的冰川数量、面积、冰储量分别占调查区冰川总量的69.76%、77.50%和81.10%。黄河流域是冰川数量最少、规模最小的一级流域,仅有冰川161条,面积128.24 km²。长江流域冰川平均面积最大,为1.27 km²。印度河流域冰川平均面积最小,为0.44 km²。

(5)冰川在西藏的7个地区(市)和青海的5个州中均有分布,西藏阿里、林芝和日喀则地区冰川数量和面积最多,占青藏地区的50%以上,单条冰川平均面积林芝地区最大,其次是昌都地区,青海省海南州的平均冰川面积最小,仅为0.12

km²；青海无论是冰川数量还是冰川面积都远少于西藏。

(6) 本次调查使用的 GF-1 影像可清晰识别冰川，色彩层次亦丰富，质量尚好但细节较 OLI 模糊，总体上能够满足冰川调查需要；与国际上冰川监测常用的 ETM 或者 OLI 相比，GF-1 有 4 个波段相对较少，4 天的覆盖周期时间分辨率较高，可以作为冰川调查的数据源。

致谢：本文是“青藏冰川变化与冰湖溃决灾害遥感综合调查”二级项目中“青藏地区冰川冰川湖动态变化中分辨率遥感调查”子项目的部分调查成果，谨对参与完成该调查工作的其他人员表示感谢。

参考文献：

- [1] 刘时银, 姚晓军, 郭万钦, 等. 基于第二次冰川编目的中国冰川现状 [J]. 地理学报, 2015, 70(1): 3-16.
- [2] 施雅风. 简明中国冰川编目 [M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2005: 1-194.
- [3] 杨针娘. 中国冰川水资源 [M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1991: 1-158.
- [4] 施雅风. 中国冰川与环境——现在、过去和未来 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1-426.
- [5] 王宗太, 苏宏超. 世界和中国的冰川分布及其水资源意义 [J]. 冰川冻土, 2003, 25(5): 198-202.
- [6] 方洪宾, 赵福岳, 张振德, 等. 青藏高原现代生态地质环境遥感调查与演变研究 [M]. 北京: 地质出版社, 2009: 78-105.
- [7] 姚檀栋, 杨志红, 刘景寿. 冰芯记录所揭示的青藏高原升温 [J]. 科学通报, 1994, 39(5): 438-441.
- [8] 张东启, 效存德, 秦大河. 近几十年来喜马拉雅山冰川变化及其对水资源的影响 [J]. 冰川冻土, 2009, 31(5): 892-895.
- [9] 姚檀栋, 刘时银, 蒲健辰, 等. 高亚洲冰川的近期退缩及其对西北水资源的影响 [J]. 中国科学(D辑), 2004, 34(6): 535-543.
- [10] 赵刚, 杨太保, 田洪阵. 1990-2011 年南天山地区冰川面积变化对气候的响应 [J]. 水土保持研究, 2014, 21(2): 257-268.
- [11] 姜珊, 杨太保, 田洪阵. 1973—2010 年基于 RS 和 GIS 的马尔冰川退缩与气候变化关系研究 [J]. 冰川冻土, 2012, 34(3): 522-529.
- [12] 谢自楚, 刘潮海. 冰川学导论 [M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2010: 1-486.
- [13] 刘时银, 刘潮海, 谢自楚. 冰川观测与研究方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2012: 1-211.
- [14] RAUP B, KAAB A, KARGEL J, et al. Remote sensing and GIS technology in the Global Land Ice Measurement for Space (GLIMS) Project [J]. Computers & Geosciences, 2007, 33(1): 104-125.
- [15] 李成秀, 杨太保, 田洪阵. 1990-2011 年西昆仑峰区冰川变化的遥感监测 [J]. 地理科学进展, 2013, 32(4): 548-558.
- [16] 周文明. 基于光学影像的冰川面积参数提取研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [17] 金珊珊. 基于多时相遥感影像和多源 DEM 的冰川变化研究 [D]. 青岛: 山东科技大学, 2013.
- [18] XIAO C D, LIU S Y, ZHAO L, et al. Observed changes of cryosphere in China over the second half of the 20th century: an overview [J]. Annals of Glaciology, 2007, 46(1): 382-390.
- [19] 赵少华, 王桥, 杨一鹏, 等. 高分一号卫星环境遥感监测应用示范研究 [J]. 卫星应用, 2015(3): 38-40.
- [20] 安国英, 郭兆成, 童立强, 等. 青藏地区冰川、冰川湖动态变化中分辨率遥感调查项目成果报告 [R]. 北京: 中国地质调查局国土资源航空物探遥感中心, 2017.
- [21] 童立强, 祁生文, 安国英, 等. 喜马拉雅山地区重大地质灾害遥感调查 [M]. 北京: 科技出版社, 2010: 148-180.
- [22] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1-20.
- [23] 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1991: 1-5.
- [24] 中国遥感数据. Landsat-8 卫星数据已开通共享服务 [EB/OL]. [2013-10-17]. <http://rs.ceode.ac.cn/landsat8-2013-10-17.jsp>.
- [25] RADIĆ V, HOCK R. Regional and global volumes of glaciers derived from statistical upscaling of glacier inventory data [J]. Journal of Geophysical Research, 2010, 115: F01010, doi: 10.1029/2009JF001373.
- [26] GRINSTED A. An estimate of global glacier volume [J]. The Cryosphere, 2013, 7: 141-151.

基于遥感调查的矿山综合评价研究

王昊¹, 汪洁¹, 李浩², 李丹², 刘雪², 宋伊圩^{2,3}

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 3. 武警黄金第三总队十二支队, 成都 611732)

摘要: 本文利用模糊层次分析法构建了区域发展与环境压力的评价模型, 并利用多期遥感影像, 结合社会经济统计数据, 对新疆某铜镍矿区开展了动态评价工作。文中选用了区域发展、环境压力两个主要评价因子, 结合子因子的评价标准, 采用隶属函数确定各个子因子的评级标准。评价结果表明: 1) 该矿山的评价得分不断降低, 矿山开发的破坏作用对评价结果仍占主导地位; 2) 该矿山开发的经济效益与区域发展、环境压力密切相关, 当矿山效益增长会促进区域发展; 矿业市场不景气时, 公司无暇顾及区域发展, 会进一步对环境施压, 谋取利益。

关键词: 遥感调查; 矿山; 模糊层次分析法; 综合评价

中图分类号: X822 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-672X(2018)05-0007-03

DOI:10.16647/j.cnki.cn15-1369/X.2018.05.003

A study on comprehensive evaluation of mine based on remote sensing surveying

Wang Hao¹, Wang Jie¹, Li Hao², Li Dan², Liu Xue², Song Yiwei^{2,3}

(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resource, Beijing 100083, China; 2. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 3. No.12 Gold Geological Party of CAPF, Chengdu 611732, Sichuan, China)

Abstract: This paper uses the fuzzy analytic hierarchy process to construct the evaluation model of regional development and environmental pressure and multiphase remote sensing image, combined with social and economic statistical data, a copper and nickel mines in Xinjiang was carried out by dynamic evaluation. In this paper, regional development and environmental pressure are selected as the two main evaluation factors, and the evaluation criteria of sub-factors are used to determine the rating criteria of each sub-factor. The evaluation results show that: 1) the evaluation score of the mine is decreasing continuously, and the damage effect of mine development still dominates the evaluation result. 2) the economic benefits of the mine development are closely related to regional development and environmental pressure, and the growth of mining benefits will promote regional development; When the mining market is depressed, the company has no time to take into account the development of the region, which will further pressure the environment and seek profits.

Key words: Remote sensing survey; Mine; Fuzzy analytic hierarchy process; Overall merit

矿产资源是支撑我国经济社会快速发展的重要基础性产业, 也是促进人类社会进步, 保障人们生产生活及社会可持续发展的物质基础^[1]。矿山开发作为区域发展的一把双刃剑, 其两面性影响逐渐显露出来: 矿山开发往往会伴随土地压占或损毁、废弃废水废渣等排放以及地质灾害(隐患)等诸多不利影响, 而随着矿山企业的发展, 其在为国家提供矿产资源、为地方提供经济效益的同时, 也能够对区域的发展起到一定的促进作用^[2]。本研究以新疆某合法在采铜镍矿山为例, 将经济发展、社会影响以及环境保护等综合效益均列入评价体系, 通过指数评价法从地质环境压力、区域发展建设方面对该矿区进行多年度动态综合评价。

1 矿山综合评价模型

目前, 对矿山环境地质问题的评价, 国内外常用的环境评价方法主要有熵权法、因子分析法、模糊数学法和模糊层次分析法等^[3]。根据矿山环境评价目标, 综合各评价方法侧重内容, 比较各种评级模型的优劣势, 最终选取模糊层次分析法^[4]。其结合了层次分析法和模糊数学法的优点。改进了层次分析结果主观性影响较大的问题, 剔除了模糊数学法结果存在大量重复信息的问题, 提高了最终结果的可靠性^[5]。

为了避免人为主观性太强从而影响最终的评价结果^[6], 建立评价因子的优先关系矩阵 U :

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & \cdots & u_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{n1} & \cdots & u_{nn} \end{bmatrix}$$

评价因子记为 a_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$), 所有评价因子的集合则为 $A=\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 。根据评价因子的重要程度, 首先构建评价因子的优先关系矩阵 U 。之后构建模糊判断矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix}$$

$$u_i = \sum_{k=1}^n u_{ik} \quad (i=1, 2, \dots)$$

$$r_{ij} = \frac{u_i - u_j}{2n} + 0.5$$

2 矿山综合评价因子分级标准

本次分级标准结合《矿山环境遥感监测技术指南》中评价标准, 设定对区域社会、生态、地质环境正面和负面的 2 个亚目标层, 结合研究区的具体情况, 每个亚目标层包括数个指标层, 即数个评价因子^[7]。每个评价因子都有其独特性, 为了进行统一评价, 须将评价因子的结果对应其标准化为无量纲数值, 最后将各个评价因子的无量纲数值以一定的比例相加得到矿区的整体评价结果^[8]。每个评价因子都有优、差两个极端, 根据每个评价因子的特殊性分别建立模糊隶属函数^[9], 如遇无法量化的因子时设每个评价因子最优时的无量纲化数值为 0.83, 最差时的无量纲化数值为 0.16, 所以当评价结果接近 1 时说明矿山环境评价结果较好, 反之较差。

该矿区位于县城东南 35km 处, 矿区主体位置原为草地, 尾矿库坐落于矿区主体南侧约 2.3km 一处干涸河床内。通过前期资料调查和 2016 年实地走访, 矿区西北部已发展为拥有职工居民楼、教育、医疗、体育场等基础设施的完善而独立的较成熟综合社区。矿区东南部为中转场地、固体废弃物堆积地、矿山建筑、冶炼厂等, 该矿山为地下开采, 无露天开采面。矿区内主干道和西南侧职工住宅区有相当程度的绿化, 东南侧矿业活动区内部植被较少, 外部多为当地牧民草场。该地区属大陆性寒温带干旱气候, 冬季严寒漫长、夏季炎热, 日照充足, 因此该地区年降水量小而年蒸发量大, 总体气候干燥, 矿山开发造成的地表水和地下水污染几率小, 受干燥少雨的气候的影响, 冶炼厂、固体废弃物堆和中转过程则易对周围草场和牧民造成粉尘污染。

结合上述实地调查情况,本次研究建立如下准则:区域发展、环境压力。①区域发展包括人文建设(即矿区内的学校、广场、文化娱乐设施)和植被活力指数(矿区外草地和矿区内绿化情况)两个方面;②环境压力包括工矿压占损毁土地(中转场地、固体废弃物对、尾矿库、矿山建筑等)、开采强度(该矿山为地下开采,无露天开采面,因此已出矿量代表其开采强度)、环境污染(主要为粉尘污染)。

具体如下图所示:

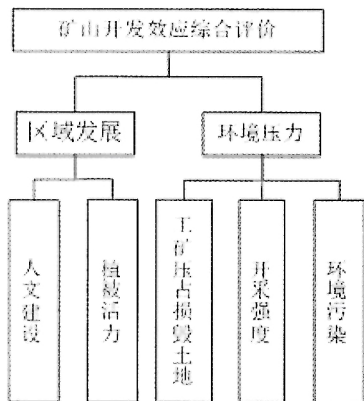


图1 矿山综合评价因子

2.1 区域发展

人文建设以建设面积评价其优差,但人文建设面积处于两者之间时,优、差的评断是模糊的^[10]。我们评价时总希望给出具体的数值去表征其好坏,根据人们对事物判断的概率规律,可以构建以正态分布为基础的隶属函数,本文以人文建设面积为零时隶属环境最差的得分为0,当人文建设面积增加时,隶属度得分逐渐增高,当人文面积为100%时,得分为1。根据本文的设定条件可以得出人文建设隶属度公式如下:

$$f_r(x) = 1 - e^{-\frac{x^2}{0.1}}, 0 \leq x < 1 \quad (2-1)$$

植被活力指数以NDVI指数度量其优差^[11]。植被覆盖度在不同的生态环境各有差异,如森林的覆盖度很高,即使覆盖度低的森林也要比荒漠的植被覆盖度高。所以在评价区域覆盖度得分时,要根据具体区域而定。本研究区属土砾质荒漠植被类型^[12],根据中国荒漠化防治报告提出的风蚀荒漠化评价分级阈值:低植被覆盖度(0 < x ≤ 10%)、中植被覆盖度(10% < x ≤ 30%)、高植被覆盖度(30% < x)。根据分级阈值知研究区内的植被覆盖度大于30%时属于高植被覆盖区,我们假定在30%时的得分无限趋近1,大于30%时得分为1,在植被覆盖度为0时得分为0。植被覆盖度得分随植被覆盖度的增加呈上升趋势,10%时为中低覆盖度的分界线,分界最为模糊,变化应最大,增长率达到最大值,至30%时达到最高值,30%以后值趋于稳定,与“S”型曲线类似,所以可得植被覆盖度得分函数如下:

$$f_v = \begin{cases} 0 & x = 0 \\ \frac{1}{1 + e^{2.94 - 29.4x}} & 0 < x \leq 0.3 \\ 1 & 0.3 < x \end{cases} \quad (2-2)$$

其中 f_v 为植被覆盖度得分,x为植被每平方公里覆盖度。

2.2 环境压力

矿业活动产生的生态环境问题和产生的破坏种类有很多,例如:矿石、废渣等固体废弃物中含酸性、碱性、毒性、放射性或重金属成分,通过地表水径流、大气飘尘,污染周围的土地、水体和大气,其影响面将远超废弃物堆积地域和空间^[13]。矿山开发环境遭到破坏后,需花费大量人力、物力、财力在经过长时间的治理才能恢复,且很难恢复到原有水平,该矿区以废气污染为主。根据开采规模,该矿山为大型矿山,开采活动一直非常频繁,为了更好地评价开采活动对研究区环境造成的破坏,本文将从矿山开采强度、环境污染以及工矿压占损毁土地等方面

进行评价。

为了统一标准需将开采强度做归一化处理,开采强度隶属度公式如下:

$$f_k(x) = 1 - \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2-3)$$

其中, $x_{\min}$ 为评价期开采强度最小值, $x_{\max}$ 为评价期开采强度最大值。

环境污染以标准限值为基准,超标时评价最差的分为0,其余情况见公式:

$$f_h(x) = 1 - \frac{x}{x_{std}} \quad (2-4)$$

其中, x_{std} 为环境污染的容许的最高值。

对于工矿压占损毁土地共有两个极端,当工矿占地面积达到所属区域100%时,开发环境为最差;当没有工矿占地时,开发环境为最好。但开发占地面积处于两者之间时,好和差的评断是模糊的。我们评价时总希望给出具体的数值去表征其好坏,根据人们对事物判断的概率规律,可以构建以正态分布为基础的隶属函数,本文以工矿占地面积为零时隶属开发环境最优的得分为1,当工矿占地面积增加时,隶属度得分逐渐降低,当工矿占地面积为100%时,得分为0。根据本文的设定条件可以得出开发占地隶属度公式为:

$$f_g(x) = e^{-\frac{x^2}{0.1}}, 0 \leq x < 1 \quad (2-5)$$

3 基础数据调查

该评价内的人文建设、植被活力和工矿压占损毁土地等基础数据通过2008-2016年遥感影像室内解译获得,包括了LandSat7、LandSat8、YG2、GF1、ZY3和02C等国内外多种卫星数据。开采强度和环境污染情况主要参考了矿山企业2008-2016年年度业绩报告、新疆维吾尔自治区国控企业污染源废气、废水监督性季度监测结果、国控重点源监督性监测工作简报等相关资料。

3.1 区域发展

区域人文建设面积自2008年的约14公顷增至2016年的33公顷,植被覆盖面积由29公顷增至43公顷,整体呈正面发展趋势。

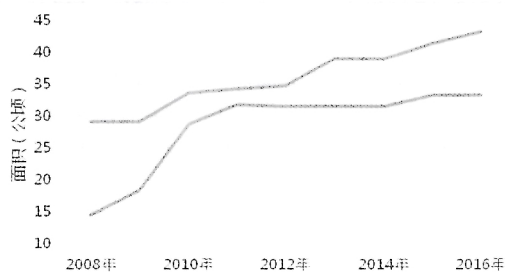


图2 2008-2016年区域发展趋势图

3.2 环境压力

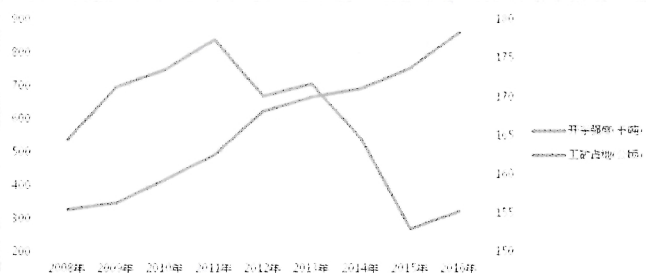


图3 2008-2016年矿山开采强度与工矿压占损毁土地面积变化示意图

工矿压占损毁土地面积在2008-2013年持续上升,2013-2015年呈下降趋势,主要为尾矿面积缩减,经查该矿山企业同期对选矿产生的尾矿进行了分级处理,对已存的尾矿库及废料进行了整治,采矿废石经破

碎处理后用于采矿井下充填和铺设道路, 剩余废弃物堆存于专设的废石堆场, 冶炼产生的固体废渣提供给周边水泥厂用作生产高质量水泥的原料, 但 2016 年工矿占地有所回升; 矿山开采强度持续提升, 尤其在 2010 年之后提升明显; 2008-2016 年废水和二氧化硫、固体颗粒等废气排放总体达标, 仅 2016 年废气超标, 其中二氧化硫超标 0.15 倍, 排放量为 $460\text{mg}/\text{m}^3$, 颗粒物超标 0.28 倍, 排放量为 $64\text{mg}/\text{m}^3$; 环境压力相关数据调查结果如图 3。

4 评价结果与分析

4.1 评价结果

通过模糊层次分析法确定两指标权重分别为 0.56、0.44, 区域发展整体得分公式如下:

$$A=0.56A_1+0.44A_2$$

环境压力整体得分公式如下:

$$B=0.28B_1+0.33B_2+0.39B_3$$

最终评价结果如下表 1, 区域评价结果见图 4。

表 1 2008-2016 年矿山开发效应综合评分

年份	开发效应总评分
2008	0.4622
2009	0.4607
2010	0.4579
2011	0.4531
2012	0.4470
2013	0.4408
2014	0.4398
2015	0.4345
2016	0.4262

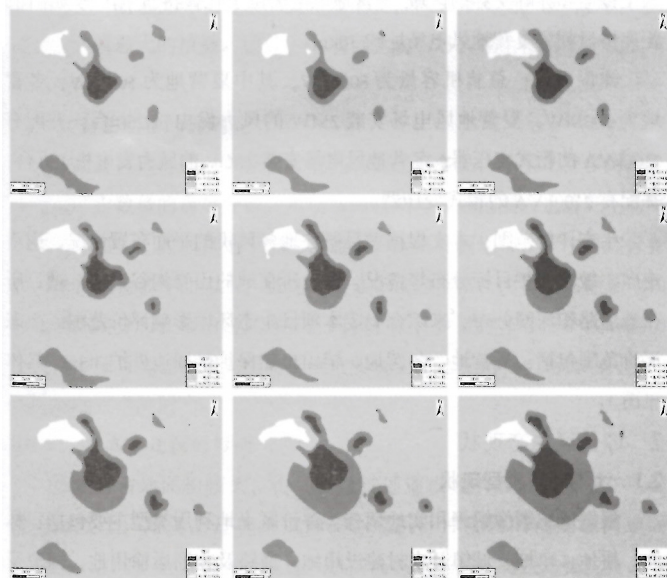


图 4 2008-2016 年矿山开发区位效应评价图

4.2 评价结果分析

综上所述 ①该评价模型和方法创新性的将矿山区域作为一个整体, 引入了矿山开发对区域的正、负两方面影响, 其评价结果更全面, 更能体现矿山企业对一定区域的综合影响; 得出的矿山开发区位效应评价结果能够更直观地反映矿山企业内不同职能、不同区位的影响效应; ②随着矿山企业规模发展, 其造成的严重影响区得到控制, 较好影响区逐渐扩大并保持, 尤其在 2010 年前后国家政府相关部门对环境问题逐渐重视, 该矿区内积极的社区基础设施逐渐完善, 地面植被和绿化情况得到改善; ③矿山开发对区域的整体影响仍以负面为主, 尤其在矿山企业经营状况发生较大改变的时期, 受企业成本和收益的直接影响, 当企业经济状况下滑时, 负面影响的比重也相应增大。以下图 5 为例, 矿山济效

益持续下滑, 其总评分也相应迅速下降, 如 II、IV 阶段; 而经济效益上升时, 其总评分下降速度也相应放缓, 如 I、III 阶段。因此, 矿山企业经济不景气时, 应是政府部门对矿山地质环境的重点观察期。

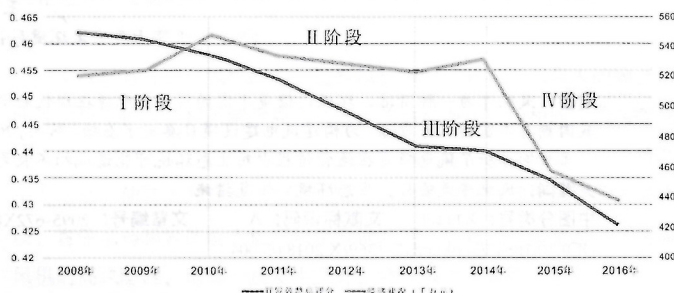


图 5 矿山企业经济状况与开发效益总评分年度变化示意图

该模型能够为未来矿山地质环境保护工作的重点位置、主要时间提供参考作用, 但该评价模型也有一定的不足和局限性。首先, 该评价模型覆盖的因子还不够全面, 如区域发展中未考虑提供的当地人口就业数量、上缴税收、交通和技术提升等因子; 其次, 该评价所选矿山为大型合法金属矿山, 其开发时间长、规模大、社区体系发展完善, 而多数小型、短期开采矿山工作人员少、设备简单、开采手段粗放, 对当地地质环境多以负面影响为主, 很难确定区域发展因子。

参考文献

- [1] 王斌, 我国绿色矿山评价研究 [D]. 中国地质大学 (北京), 2014.
- [2] 徐友宁, 袁汉芳, 何芳等. 矿山环境地质问题综合评价指标体系 [J]. 地质通报, 2003, (10): 829-832.
- [3] 罗清威, 平煤八矿矿山地质环境综合评价研究 [D]. 河南理工大学, 2016.
- [4] 刘明明, 基于模糊层次分析法的自然保护区评价系统的研究 [D]. 河南农业大学, 2016.
- [5] 李小宝, 杨阔, 胡梦锦. 基于 GIS 和模糊层次分析法的输电线路路径方案评价 [J]. 电工文摘, 2017, (03): 26-29.
- [6] 卢文达, 基于模糊层次分析法的状态评估系统的研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2016.
- [7] 杨晓飞, 矿山环境遥感动态监测方法与应用研究 [D]. 中国地质大学 (北京), 2014.
- [8] 吴建军, 四川省康定县某金矿矿山地质环境综合评价 [D]. 成都理工大学, 2013.
- [9] 颜春, 刘素红, 赵祥. 矿山环境遥感综合评价指标的研究 [J]. 遥感信息, 2005, (06): 29-31.
- [10] 董宇婕, 矿山地质环境遥感监测方法初探 [J]. 世界有色金属, 2017, (01): 102-103.
- [11] Fan, L., et al., Evaluation of microwave remote sensing for monitoring live fuel moisture content in the Mediterranean region [J]. Remote Sensing of Environment, 2018, 205.
- [12] 宋玮. 新疆喀拉通克铜镍矿区植物地球化学特征及找矿有效植物和元素的选择 [J]. 桂林理工大学学报, 2016, (02): 195-206.
- [13] 普传杰, 秦德先, 黎应书. 矿业开发与生态环境问题思考 [J]. 中国矿业, 2004, (06): 23-26.

收稿日期: 2018-04-12

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“全国矿产资源开发环境遥感监测, (编号: 121201203000160009)”资助。

作者简介: 王昊 (1985-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为遥感地质等。

西藏日喀则矿山环境恢复治理效果分析^{*}

王海庆, 陈 玲

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘 要:西藏日喀则是典型的生态环境脆弱区, 针对部分矿山闭坑后矿山环境恢复治理的效果评价分析, 主要采用遥感与GIS相结合的技术方法, 以恢复治理区域为研究对象, 通过不同期次遥感图像对比, 分析矿山环境恢复治理的效果。发现总体上, 矿山环境恢复治理取得了良好的效果, 但个别区域开展矿山环境恢复治理工作后破坏了更多的草场, 并且在西藏的特殊自然条件下还需要相当长的时间才能恢复草场, 因此, 在日喀则等生态脆弱区域需慎重选择土地平整的方式开展矿山环境恢复治理工作, 建议土地平整后开展植草灌溉等后续工作, 以尽快恢复草场, 实现矿山环境恢复治理的目的。

关键词:日喀则; 矿山环境恢复治理; 土地平整; 草场; 遥感

中图分类号:TD167

文献标识码:A

文章编号:1005-2763(2018)10-0118-04

DOI:10.13827/j.cnki.kyyk.2018.10.024

0 引 言

“十八大”以来, 生态环境工作被提到了前所未有的高度。在习总书记十九大报告中更是明确要求“着力解决突出环境问题, 构建政府为主导、企业为主体、社会组织和公众共同参与的环境治理体系”。矿山环境恢复治理是衡量地方矿政管理部门工作业绩的重要指标之一, 也是原国土资源部定期发布《中国矿产资源报告》的重要组成部分。而遥感技术具有客观、真实的鲜明特点, 在开展矿山环境恢复治理调查监测方面具有独特的优势。为此, 原国土资源部、中国地质调查局在部署开展的“全国矿产资源开发环境遥感监测”项目中, 将矿山环境恢复治理情况监测作为最重要的工作内容之一; 2018年又单独设置了“全国2017年新增的矿山环境治理状况监测”项目, 凸显了对矿山环境恢复治理调查工作的高度重视。

早在20世纪90年代, 就有学者开始关注矿山环境恢复治理的问题, 比如田积莹等通过复田试验研究了采矿后的恢复措施和作物产量^[1]。近几年关于矿山环境恢复治理的研究报道逐渐增多, 体现了矿山环境恢复治理问题受关注程度在逐步提高。陈龙等从工程学角度研究了湖北黄梅马尾山铁矿废弃用地的恢复治理问题^[2]; 余光辉等对比研究了开采区、恢复区、废弃地的重金属环境安全及植物耐受性^[3]; 杨显华等利用遥感手段调查了四川冕宁牦牛坪稀土矿的矿山环境治理状况^[4]; 陈琪等研究了云南元阳某金矿矿集区的矿山环境恢复与治理规划^[5]; 罗才贵等探讨了离子型稀土矿山的工程治理、生态修复等问题^[6]; 王心义等评价了先锋矿矿区地质环境破坏程度, 并提出了相应的恢复治理建议^[7]; 王志骅研究了张村矿矿山开采引起的地质环境问题, 并对保护和治理恢复进行了分区, 还设计了相应的防治工程^[8]; 李培启探讨了河南信阳上天梯非金属矿生态环境补偿机制^[9]; 任宝良研究了涉县西达石英砂岩矿环境恢复与治理方案^[10]; 于坤探讨了铀矿山生态环境治理中的土地复垦方案^[11]; 黄芳芳等阐述了广西平乐锰矿露采废弃地的“猪一沼一果”生态恢复模式, 提出了广西木圭锰矿区生态恢复治理对策和建议^[12]; 蒋权等研究了三维可视化技术在矿山土地复垦中的应用^[13]; 赵中秋等探讨了金属矿的污染防治与生态复垦设计^[14]; 郭维君等研究了广西泗顶铅锌矿区生态恢复与重建问题^[15]。但对于矿山环境恢复治理效果的评价分析方面的报道还不多见。本文主要采用遥感与GIS相结合的技术方法, 以恢复治理区域为研究对象, 通过不同期次遥感图像对比, 探讨西藏日喀则矿山环境恢复治理的效果。

^{*} 收稿日期: 2018-01-30

基金项目: 中国地质调查局项目(121201003000172718; 121201003000172705)。

作者简介: 王海庆(1980—), 男, 河南杞县人, 博士, 高级工程师, 主要从事遥感技术在矿山开发、矿山环境等领域的应用研究, Email: whq0705@126.com。

1 研究区遥感数据源与遥感识别方法

日喀则市地处我国西南端、青藏高原腹地,位于喜马拉雅山北麓、冈底斯山东段,是典型的生态环境脆弱区。日喀则的矿业开发强度总体不大,金属矿产主要集中在谢通门、昂仁、仲巴等县级行政区,这几个县也是冈底斯成矿带的重要组成部分;但非金属矿产,尤其是建筑用砂矿产开采广泛。建筑用砂矿产主要采用露天开采方式,部分矿山闭坑后进行了矿山环境恢复治理,恢复治理的方式主要是土地平整、改造为农田等。在县级行政区上,亚东县的矿山环境恢复治理面积最大,故选择了亚东县的某个恢复治理区域作为特别关注区域。

1.1 遥感数据源

为了研究矿山环境恢复治理效果,收集了日喀则市 2015 年度、2016 年度统一时间节点获取的卫星遥感数据。2015 年度的遥感数据覆盖了日喀则市全境,以空间分辨率 2 m 的彩色图像为主(见图 1);2016 年度的遥感数据同样覆盖了日喀则市全境,以空间分辨率 5 m 的灰度图像、空间分辨率 2 m 的彩色图像为主(见图 2)。

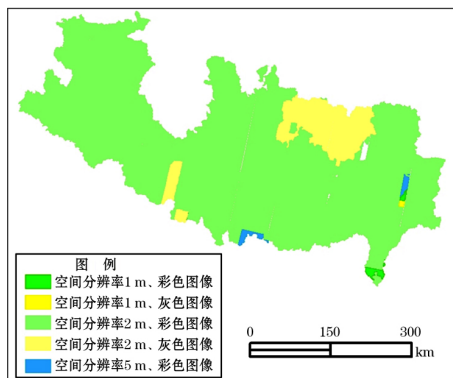


图 1 2015 年度遥感数据

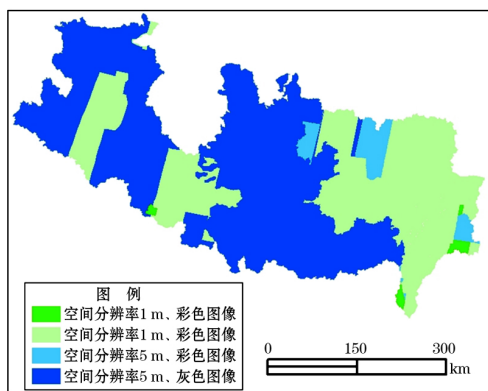


图 2 2016 年度遥感数据

同时,为了探讨矿山环境恢复治理效果,收集了亚东县某恢复治理区域更多期次的遥感数据,分别选取了该区域开采前、闭坑后(恢复治理前)、刚恢复治理后、恢复治理 2 年后共 8 景遥感数据(见表 1)。

表 1 特别关注区域收集留用的遥感数据

序号	时相	数据类型	筛选情况
1	2002.11.07	LE7	留用
8	2014 下半年	ZY3	留用
9	2014.10.31	LC8	留用
15	2015 下半年	GF1	留用
16	2015.10.18	LC8	留用
21	2016 下半年	GF1	留用
22	2016.12.07	LC8	留用
23	2017 下半年	PLB	留用

1.2 遥感识别方法

建筑用砂的露天开采面在遥感图像上易于识别,尤其是在高分辨率遥感图像上易于与其它地物区分开来。在中等分辨率 Landsat 遥感数据 471 波段组合彩色图像上,开采面呈浅灰白色,与周围草场的浅绿色调明显不同。在较高分辨率 ZY3 遥感数据全色波段灰度图像上,开采面呈浅灰色,且有凹凸不平的不规则纹理;为转运砂石而碾压破坏的草场也呈浅灰色,但较平整;未破坏的草场呈色调较深的灰色。

建筑用砂露天开采面被恢复治理(平整)后在遥感图像上同样易于识别。在中等分辨率 Landsat 遥感数据 471 波段组合彩色图像上,治理后的土地呈浅灰白色,与周围草场的浅绿色调明显不同。在较高分辨率 GF1 遥感数据 321 波段组合彩色图像上,平整后的土地呈土黄色,但不再具备凹凸不平的不规则纹理,与周围草场的灰褐色明显不同。在较高分辨率 PLB 遥感数据 321 波段组合彩色图像上,平整后的土地呈浅灰白色,但不再具备凹凸不平的不规则纹理,与周围草场的灰黑色明显不同。

2 调查结果

根据多期遥感数据,开展遥感调查。发现:2015~2016 年度西藏日喀则共有矿山环境恢复治理面积 33.34 万 m^2 。位于南木林县、拉孜县、亚东县,分别有 10.96 万 m^2 、4.40 万 m^2 、17.98 万 m^2 。通过与该县涉矿用地面积对比,发现亚东县的矿山环境恢复治理率最大,为 23.73%;其次是南木林县,为 7.91%;然后是拉孜县,为 4.21%(见表 2)。反映出

亚东县的矿山环境恢复治理投入较大。

总体上,日喀则的矿山环境恢复治理取得了较好的效果,平整了原涉矿用地,甚至改造成农田或绿化带,改善了当地的生态环境。

对特别关注区域的调查发现:2014 年闭坑时该露天采坑面积为 4.43 万 m²;2015 年,该采坑进行了矿山环境恢复治理,恢复治理方式为土地平整,土地平整作业面面积为 8.14 万 m²(见图 3)。

利用多年遥感图像对比可以看出,该区域开采前全是草场,至 2014 年闭坑后,露天采坑共破坏草场 4.43 万 m²。2015 年,开展矿山环境恢复治理后,土地平整作业面共 8.14 万 m²,比采坑面积增加了

3.71 万 m²,增加率达 83.74%。在增加的 3.71 万 m²作业面中,有 2.16 万 m²为原矿山开采过程中已经碾压破坏的草场,另外 1.55 万 m²为新破坏的草场。新破坏草场面积占增加面积的 58.22%,为原采坑面积的 48.76%。

表 2 恢复治理方式统计

县名	恢复治理方式	恢复治理面积/万 m ²	恢复治理率/%
南木林县	改造为农田	8.82	7.91
	改造为绿化带	2.14	
拉孜县	改造为农田	1.01	4.21
	平整	0.12	
	恢复为河道	3.27	
亚东县	平整	17.98	23.73

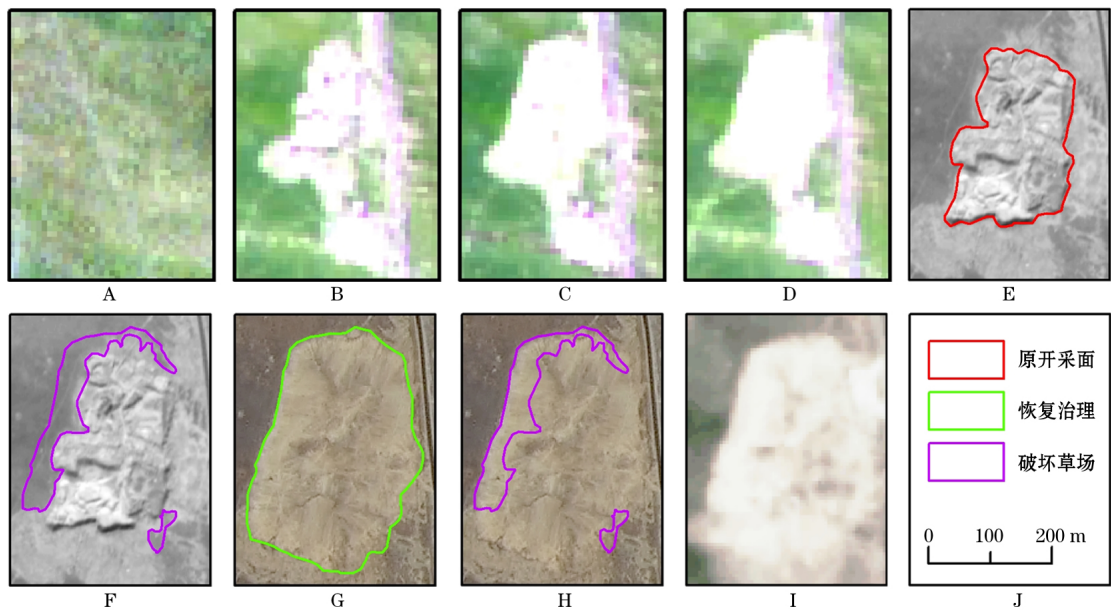


图 3 特别关注区域遥感调查结果

A—2002 年(开采前)LE7 遥感图像; B—2014 年(闭坑后、恢复治理前)LC8 遥感图像; C—2015 年(刚恢复治理后)LC8 遥感图像; D—2016 年(恢复治理 1 年后)LC8 遥感图像; E—闭坑后(恢复治理前)采坑范围调查图(2014 年 ZY3 遥感图像); F—恢复治理破坏草场调查图(2014 年 ZY3 遥感图像); G—恢复治理范围调查图(2015 年 GF1 遥感图像); H—恢复治理破坏草场调查图(2015 年 GF1 遥感图像); I—恢复治理 2 年后(2017 年 PLB)遥感图像; J—图例

可见,该露天采坑的矿山环境恢复治理(土地平整)进一步破坏了草场。该地区自然条件恶劣、植被生长发育极其缓慢,遭受破坏后需要相当长的时间才能恢复草场,该区域恢复治理 2 年后的遥感图像上仍未看出草场恢复的迹象。由此可见,在西藏等自然条件恶劣,植被生长发育极其缓慢的区域,需慎重选择土地平整的方式开展矿山环境恢复治理。若必须采用,建议土地平整后还需要开展植草灌溉等后续工作,才能尽快恢复草场,实现矿山环境恢复治理的目的。

3 结 论

根据多期遥感数据,开展遥感调查,发现 2015~2016 年度西藏日喀则共有矿山环境恢复治理面积 33.34 万 m²。亚东县的矿山环境恢复治理面积最大、恢复治理率也最大。

对特别关注区域的调查发现,利用土地平整的方式开展矿山环境恢复治理进一步破坏了草场(新增破坏草场面积 1.55 万 m²),并且至恢复治理 2 年后,仍未看出草场恢复的迹象,因此,在西藏等自然

条件恶劣、植被生长发育极其缓慢的区域需慎重选择土地平整的方式开展矿山环境恢复治理。建议土地平整后开展植草灌溉等后续工作,以尽快恢复草场,实现矿山环境恢复治理的目的。

参考文献:

- [1] 田积莹,薛建民,雍绍萍,等.矿区复田与农业生产和环境治理[J].水土保持学报,1993,7(4):44-48.
- [2] 陈龙,柴波,梁敏,等.湖北黄梅马尾山铁矿废弃地恢复的工程学研究[J].环境工程学报,2017,11(3):1966-1974.
- [3] 余光辉,云琨,翁建兵,等.湘潭锰矿重金属环境安全及植物耐性研究[J].长江流域资源与环境,2015,24(6):1046-1051.
- [4] 杨显华,黄洁,田立,等.基于高分辨率遥感数据的矿山环境综合治理研究——以冕宁牦牛坪稀土矿为例[J].国土资源遥感,2015,27(4):115-121.
- [5] 陈琪,赵志芳,何彬仙,等.基于RS和GIS技术的矿山环境恢复与治理规划——以云南省元阳某金矿矿区为例[J].国土资源遥感,2015,27(3):167-171.
- [6] 罗才贵,罗仙平,苏佳,等.离子型稀土矿山环境问题及其治理方法[J].金属矿山,2014(6):91-96.
- [7] 王心义,李任政,李建林.矿区地质环境破坏程度评价及其恢复治理[J].河南理工大学学报(自然科学版),2014,33(5):681-685.
- [8] 王志骅,张村矿.矿山地质环境保护与治理恢复[J].煤矿安全,2013,44(7):190-192.
- [9] 李培启.信阳上天梯非金属矿生态环境补偿机制探讨[J].信阳师范学院学报(自然科学版),2013,26(4):527-530.
- [10] 任宝良.涉县西达石英砂岩矿环境恢复与治理方案研究[J].中国矿业,2012,21(2):39-40,43.
- [11] 于坤.浅议铀矿山生态环境保护措施重要环节——土地复垦[J].中国矿业,2012,21(Z1):117-120.
- [12] 黄芳芳,李艺,郭秀莲.广西平乐锰矿露天废弃地的生态恢复模式[J].矿业研究与开发,2011,31(1):88-91.
- [13] 蒋权,陈建宏,杨海洋.三维可视技术在平果铝土矿复垦中的应用[J].矿业研究与开发,2010,30(1):77-79,83.
- [14] 赵中秋,周增科,梁登,等.金属矿复垦中的污染防治与生态复垦设计探讨——以广东云安县高枧铅锌矿为例[J].环境科学与技术,2010,33(12F):106-110.
- [15] 郭维君,陈学军,崔晓艳.广西泗顶铅锌矿区生态恢复与重建[J].中国矿业,2010,19(5):44-46,54.

Effectiveness Analysis on Mine Environment Rehabilitation in Shigatse of Tibet

WANG Haiqing, CHEN Ling

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Shigatse of Tibet is a typical fragile area of ecological environment. Aimed at the mine environment rehabilitation for some mines after closing pit, the technical method combining remote sensing with GIS was mainly adopted. Taking the rehabilitation area as the research object, the effect of the restoration and treatment of the mine environment was analyzed through the contrast of different periods of remote sensing images. It was found that a good effect was generally obtained in the mine environment rehabilitation. However, in individual areas, mine environment rehabilitation damaged more grassland, and it would take quite a long time to recover grassland in Tibet under its special natural conditions. Therefore, the methods of land levelling should be carefully chosen to carry out the mine environment rehabilitation, especially in ecological fragile areas such as Shigatse. It was suggested that planting irrigation work should be put forward after land levelling, so as to recover the grassland as soon as possible, and to achieve the purpose of mine environment rehabilitation.

Key words: Shigatse, Mine environment rehabilitation, Land levelling, Grassland, Remote sensing

典型矿山尾矿化学成分研究 ——以新疆某铜镍尾矿库为例

王昊¹,李浩²,宋伊圩^{2,3},王海庆¹,刘雪²

(1.中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083;2.中国地质大学(北京),北京 100083;
3.武警黄金第三总队十二支队,四川 成都 611732)

摘要:尾矿作为特定经济技术条件下形成的、具一定规模且可开发利用的资源,研究其化学成分分布特点,对今后尾矿资源再利用具有重要意义。选取新疆某铜镍尾矿库作为研究对象,据物理特征差异、距排放口距离、垂向不同深度布署采样,并进行X荧光检测,经尾矿化学含量分析发现,该尾矿具多种再利用价值,且化学成分在时间和空间分布上存在一定规律。

关键字:尾矿;化学含量;统计分析

矿产资源作为储量有限且非可再生资源,天然矿产必将随着持续开采变得更为稀缺而受到严格的政策管制。尾矿作为在特定经济技术条件下形成的具一定规模且(未来)可开发利用的资源,逐渐受到社会各方面的重视^[1]。1994年国务院讨论通过的《中国21世纪议程——中国21世纪人口、环境和发展白皮书》中将《尾矿的处置、管理及资源化示范工程》列入优先领域的优先项目计划,标志着尾矿资源的合理开发利用已被提到重要位置^[2-3]。

我国对尾矿资源再利用的研究主要集中在两方面:①从管理、经济或技术发展的角度分析尾矿资源的可利用性与可利用方式^[4-9];②以金、铜、铅锌等某一矿种作为研究对象,利用采样、检测和分析

等技术手段分析尾矿资源的可利用程度^[10-15]。本研究依托中国地质调查局航空物探遥感中心“全国矿产资源开发环境遥感监测”项目,在2012—2013年河北典型矿区进行的尾矿矿物成分研究工作基础上^[16],选取新疆某铜镍尾矿库作为研究对象,通过实地采样和X荧光检测化学含量,分析该尾矿化学成分在表层和深层不同位置间含量差异,探索其化学成分分布特征与变化规律,为今后尾矿资源再利用技术手段选择提供基础研究工作(图1)。

1 尾矿基本情况

该铜镍矿库距城区35 km,其尾矿库位于矿区南侧约2.3 km一处干涸河床内。经多期遥感影像

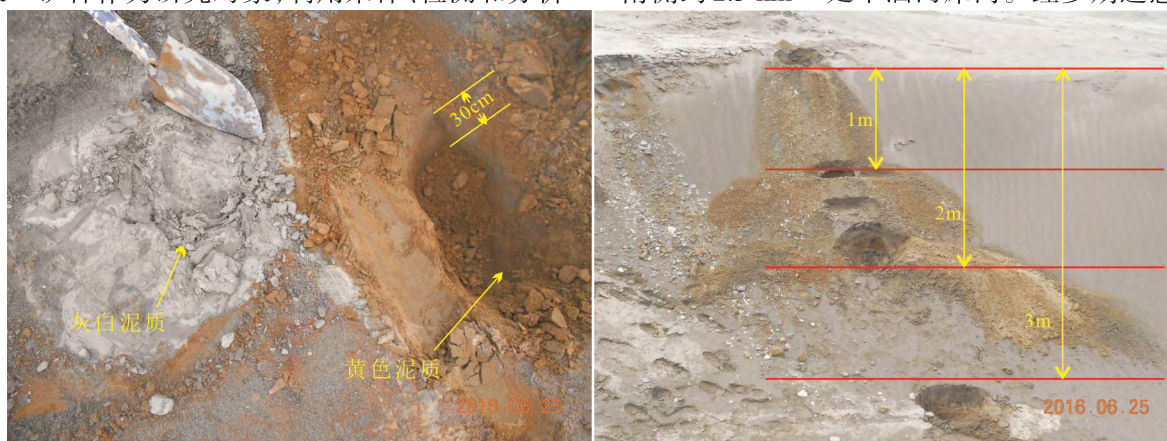


图1 尾矿实地特征及现场采样情况
Fig.1 Field characteristics and sampling of the tailings

项目资助:中国地质调查局地质调查项目全国矿产资源开发环境遥感监测(121201203000160009)资助

收稿日期:2017-12-04;修订日期:2018-03-12;作者E-mail:1161624962@qq.com

第一作者简介:王昊(1985-),男,河北辛集人,硕士,2010年毕业于南澳大利亚大学环境科学专业,主要从事遥感地质等方面工作

和实地调查发现,该尾矿库正式使用期始于2001—2003年间,目前已处于停用状态。表层尾矿干燥,无明显积水,表面积约0.50 km²。

2 采样方案部署

实地踏勘中可观测到该尾矿在不同区域呈不同程度的灰白色和黄褐色,且不同区域尾矿颗粒粗细度存在较明显差异(图1)。

据上述实地调查情况,将尾矿不同颜色和颗粒度作为尾矿物理特征、同一水平面距排放口不同位置(一般同一水平面内尾矿年度排放差异不大)作为空间要素差异、同一位置不同深度(不同深度代表不同时期排放的尾矿)作为时间要素差异,部署采样点13处。

3 化学含量检测

所采集尾矿样品委托郑州矿产综合利用研究所进行X荧光检测。检测结果显示,该尾矿含钠、铁、铜等多种金属化合物,氮、磷、钾等非金属化合物及铷、铯、钼、钒等稀有元素所组成的化合物,共31种。其中19种化合物,如SiO₂、Fe₂O₃、MgO、Al₂O₃和SO₃等在样品中普遍存在,占总量的99%以上;8种化合物和元素,Co₂O₃、Rb₂O、ZrO₂、PbO、BaO、V₂O₅、Ga₂O₃和N在部分样品中少量存在;As₂O₃、Nb₂O₅、HfO₂和ReO₂4种化合物仅在个别样品(≤4个)中存在,且其含量所占比例仅为0.002%~0.007%。部分检测结果见表1。

表1 尾矿样品X荧光检测(部分)化学成分含量表

Table 1 Tailings samples of X fluorescence detection(part) chemical composition 单位:%

化学成分	1	2	3	...	11	12	13
SiO ₂	34.318	38.311	36.749		32.709	32.914	36.033
NiO	0.122	0.268	0.148		0.202	0.212	0.212
CuO	0.097	0.154	0.063		0.117	0.112	0.155
N	0.419	—	0.453		—	0.425	0.368
P ₂ O ₅	0.452	0.347	0.526		0.394	0.407	0.324
K ₂ O	0.855	1.135	1.112		0.901	0.885	1.143
Rb ₂ O	0.003	0.003	0.002		—	0.002	0.002
TiO ₂	0.758	0.572	0.856		0.702	0.749	0.716
ZrO ₂	0.012	0.008	0.011		—	0.011	—
V ₂ O ₅	—	0.021	0.035		0.019	0.023	0.023
Y ₂ O ₃	0.002	0.002	0.002		0.001	0.002	0.002
Cr ₂ O ₃	0.198	0.072	0.145		0.106	0.120	0.141
SrO	0.050	0.058	0.061		0.063	0.062	0.064
As ₂ O ₃	0.004	0.004	0.004		—	—	—
.....							

4 检测结果分析

4.1 尾矿物理特征与目标矿物关系

该尾矿库内不同尾矿物理特征和目标矿物含量并无明显关系,即不能通过尾矿物理特征简单定义其化合物含量和利用价值。但其中2号黄色泥质尾矿中铜、镍含量均明显高于其他样品,且镍元素含量界于边界品位,属于矿石范畴(图2)。

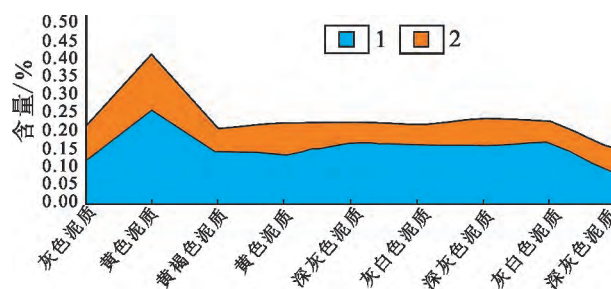


图2 尾矿物理特征与CuO和NiO含量关系示意图
Fig.2 Diagram of relationship between the tailings physical characteristics and content of CuO and NiO
1.NiO;2.CuO

4.2 空间分布与目标矿物关系

13处采样点中,2处位于距排放口210 m,2处位于260 m,5处位于320 m,4处位于340 m。通过对该尾矿库4处不同距离的表层样品检测分析,结果表明,仅CuO含量在260 m处较210 m处略高、NiO含量在340 m处较320 m处略高外,CuO和NiO含量随着距排放口距离的增加,总体呈降低趋势(图3)。

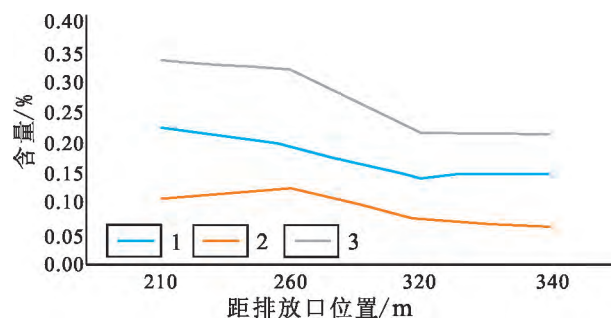


图3 距排放口自近及远CuO与NiO含量变化示意图
Fig.3 Variation of CuO and NiO content at the distance from the discharge port
1.NiO;2.CuO;3.NiO、CuO总量

4.3 时间差异与目标矿物关系

对比同一位置点垂直方向0 m(表层)、1 m、2 m和3 m尾矿样品CuO和NiO含量变化,结果表明,CuO含量在3 m位置高于0~2 m位置,自下向上整体呈下降趋势;NiO含量在0 m位置高于1~3 m位置,自下向上整体呈上升趋势(图4)。据上述结论,该尾矿库内某一深度位置会形成矿物含量高低差异的节点,而非随深度增加逐渐递增或递减的线性

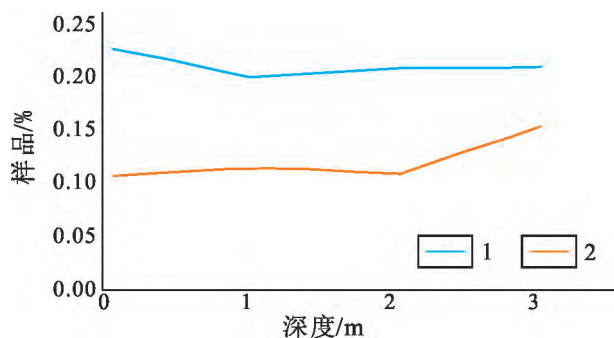


图4 同一位置不同深度CuO和NiO含量变化示意图
Fig.4 Diagram of CuO and NiO contents at different depths in the same position
1.NiO;2.CuO

变化规律。变化除受铜、镍存在形式的自然因素影响外,还受降雨量、尾矿干湿度、原矿石品位、选矿技术及单一矿种经济价值等多种因素影响。

5 结论与问题

(1) 尾矿资源若管理不当,会对周围环境造成一定程度的危害,如该尾矿库中存在的三氧化二砷;但同时该尾矿含有农业与工业生产中所需的多种元素,如氮磷钾为农作物生长所需营养元素,铷为稀有轻金属元素,铊、锆和钒为难熔稀有金属元素,钇为稀土元素,经处理和提取后能在多个领域发挥重要作用。

(2) 按不同物理特征将尾矿作为单一个体分析,尾矿颜色和质地与化学含量间未发现明显规律特征,而将同一水平面距排放口不同位置(空间要素)和同一位置不同深度(时间要素)尾矿混合样作为个体分析,其在时间和空间上存在一定的变化规律。因此,在尾矿资源再利用的技术实施过程中,可考虑针对不同的目标矿物含量采取不同的技术手段,从而提高回收效率、降低回收成本。

该研究取得了上述初步结论,同时也存在多方面问题,如相同物理特征的尾矿样品数量有限,统计分析所表现的规律性仍不明显;因检测出的化学成分种类较多,未将CuO和NiO以外的其他化合物进行分析研究;该研究同时检测了矿物组成,但矿物组成结果多为区间值,因此未开展化学含量和矿物组成的关联性研究,该问题均需在未来的研究工作中进一步补充和完善,从而建立起一套较丰富的矿物组成-化合物含量差异特征构架。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国国土资源部.DZ/T 0266—2014 矿产资源开发遥感监测技术规范[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [2] 刘劲鸿.合理开发利用尾矿是矿业经济增长的新途径[J].中国地质,2000,(11):21-25.
- [3] 向鹏成,谢英亮.尾矿利用的经济性潜力分析[J].矿产保护与利用,2002,(1):50-54.
- [4] 饶俊,刘鹏,杨炳飞,冀南-邯邢铁尾矿理化特征及综合利用现状分析[J].中国矿业,2018,27(1):100-104.
- [5] 刘恋,郝情情,郝梓国,等.中国金属尾矿资源综合利用现状研究[J].地质与勘探,2013,49(03):437-443.
- [6] 张宏泉,李琦缘,文进,等.铜尾矿资源的利用现状及展望[J].现代矿业,2017,33(1):127-131.
- [7] 侯攀,陈宇清,樊宇姣.金属矿山尾矿综合利用现状[J].现代矿业,2017,33(2):129-131.
- [8] 黄勇刚.我国铁尾矿资源的利用现状及展望[J].资源与产业,2013,15(3):40-44.
- [9] 崔正旭.论尾矿综合利用现状调查及其意义[J].低碳世界,2017,(12):76-77.
- [10] 张光斌,艾光华.某白钨浮选尾矿钨再回收利用试验研究[J].有色金属(选矿部分),2018(1):65-69.
- [11] 袁玲,孟扬,左玉明.黄金矿山尾矿资源回收和综合利用[J].黄金,2010,31(2):52-56.
- [12] 孙娜,尤彩霞,胡亚伟,等.磷尾矿氨循环法分离钙镁制取氢氧化镁碳酸钙的研究[J].无机盐工业,2018,(3):57-59.
- [13] 易龙生,何磊,王泽祥.铅锌尾矿的资源化利用[J].矿产综合利用,2017,(1):12-15.
- [14] 蒋京航,叶国华,胡艺博等.铁尾矿再选技术现状及研究进展[J].矿冶,2018(1):1-4.
- [15] 赵春刚,张玮,黄发金,等.盐湖尾矿综合利用的工艺改进与探讨[J].盐科学与化工,2018(2):34-36.
- [16] 王昊,齐泽荣,聂洪峰,等.尾矿库遥感影像与矿物成分的对映性研究[J].有色金属(矿山部分),2013,65(5):81-85.

Study on Chemical Composition of Tailings in Typical Mines——Taking a Copper Nickel Tailings Reservoir in Xinjiang as An Example

Wang Hao¹, Li Hao², Song Yiwei^{2,3}, Wang Haiqing¹, Liu Xue²

(1.China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resource, Beijing, 100083, China;

2.China University of Geosciences, Beijing, 100083, China; 3.No.12 Gold Geological Party of CAPF, Chengdu, Sichuan, 611732, China)

Abstract: Tailings as a certain scale of economic and technological conditions formed and can be exploited in the future, research on the distribution of chemical components of tailings resources reuse in the future is of great significance. This paper selects Xinjiang copper-nickel tailing as the research object, according to the physical characteristics, away from the discharge distance and vertical direction at different depths were sampled, and X fluorescence detection of tailing samples. The analysis of chemical content of tailings showed that the tailings has a variety of recycling value, and the chemical components in time and space distribution of the existence of a certain degree of regularity.

Keywords: Tailings; Chemical content; Statistical analysis

资源一号02C卫星在江西重点矿区开发监测中的应用*

汪 洁, 李 迁, 李 丽, 刘小杨

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘 要: 本文以江西省铅山县广丰铜煤矿区为工作区, 选用2012年资源一号02C卫星数据, 在正射纠正、几何精校正、配准、融合及波段运算的基础上, 使用包含有REEBOTOO遥感数据转换中间件的PS软件匀色镶嵌, 得到模拟真彩色的正射影像图。采用人机交互解译和实地调查相结合的方式, 提取反映矿区开发状况的遥感信息, 编制1:5万矿山开发状况监测成果图件。它可以直观、客观地反映研究区的矿山开发状况, 从而为矿山资源的可持续开发与利用, 维护矿业秩序及综合整治矿区环境等提供决策依据。

关键词: 资源一号02C卫星; 影像处理; 矿山监测; 江西

1 引言

卫星遥感具有快速、宏观、客观的对地观测能力, 已经成为国土资源规划、决策与管理的重要支撑性技术之一^[1]。矿山作为国土资源重要的组成部分, 对于它的监测具有重要意义。在遥感矿山监测方面, 起初多选用TM、SPOT影像数据^[2,3]。近年来, 随着遥感技术的发展及多源卫星的发射, QuickBird、IKONOS等高分辨率影像已经被广泛应用于矿山监测中^[4-7], 选用高分辨率影像对矿山监测成为当前趋势。2011年12月22日, 我国成功发射了高分辨率的资源一号02C卫星, 其上搭载有一台10m分辨率的PMS多光谱相机及两台2.36m分辨率的HR相机, 可获取全色和多光谱图像数据。作为我国首颗根据国土资源主体业务需求定制的高分辨率业务卫星, 自运行至今, 已经被应用于基础地质调查、矿产资源勘查、矿产资源开发调查与监测以及地质灾害调查与监测等多个业务领域。已有的经验表明, 使用配准、融合、正射纠正的常规方法对资源一号02C卫星 HR数据与PMS多光

谱数据处理, 容易产生模糊、重影、局部纠正误差超限等问题。基于此, 本文首先以DEM数据及资源一号02C卫星rpb参数为参考, 对资源一号02C 卫星HR数据及PMS多光谱数据分别进行正射粗纠正, 使其具有地理坐标及投影信息, 进而进行几何精校正、配准、融合等处理, 形成满足解译要求的正射影像图。最终通过解译及野外验证的方式, 提取反映矿区开发状况的遥感信息, 完成1:5万矿山监测成果图件的编制, 得到2012年江西省重点矿区的开发状况。

2 研究区概况及数据源

2.1 研究区概况

铅山县位于江西省东北部, 武夷山麓, 范围为东经117° 26′ -118° 00′, 北纬27° 48′ -28° 024′。地势由东南向西北逐渐倾斜, 具有南部中低山区, 中部低山丘陵区, 北部低山岗地河谷平原区的地貌特征。矿产资源丰富, 主要有铜、铅、锌、煤、石灰石等矿藏, 其中, 有年产3万吨的规模煤矿

*基金项目: 全国矿产资源开发环境遥感监测121201203000160009

收稿日期: 2017-12-22

作者简介: 汪洁(1985—)女, 工程师, 主要研究方向为遥感地质。

47座, 各类非煤矿山60余个, 为国家重点产铜地之一, 全国第二大铜矿永平铜矿坐落境内^[8]。

2.2 数据源

本文使用的数据主要有遥感数据及其他辅助数据两类。其中, 遥感数据为2012年相同季相的资源一号02C卫星HR数据及PMS多光谱数据, 数据质量好, 少云雾, 噪声小, 完全满足应用需求。

其他辅助数据包括用于影像纠正的2011年覆盖研究区RapidEye数据源的DOM影像底图及30m分辨率的DEM影像的控制资料 and 全国基础地理数据库及矿山监测相关的矢量数据。其中, 矿山监测相关矢量数据包括: 江西省地名、江西省行政界线、矿权界线、开采面矢量。

3 数据处理及应用

影像的预处理和增强处理工作分别使用ERDAS和包含有REEBOTOO遥感数据转换中间件的PHOTOSHOP软件完成。影像预处理主要是对资源一

号02C卫星HR数据与PMS多光谱数据进行正射纠正、几何精校正、配准、融合、波段运算等。增强处理则是对影像进行匀色镶嵌, 使得影像纹理清晰、色调均匀、反差适中、色彩接近自然真彩色, 增强影像目视解译效果。

3.1 几何纠正

以2011年的正射影像图作为参考影像, 选取控制点, 坐标系统采用高斯-克吕格投影6°分带方式, 对资源一号02C卫星正射纠正后的HR数据进行多项式纠正。纠正是在待纠正影像和参考影像上选取均有的同名明显特征地物点为纠正控制点。一般选取道路交叉口、桥梁、规则地块拐角等影像上可以明显显示的地方, 避免在两景全色影像接边附近、存在错误或误差超限的区域采集。对于资源一号02C卫星影像纠正时, 选取控制点数量在30个左右, 采用二次多项式、双线性内插的方法, 即可满足矿山遥感监测的要求。表2为铅山县广丰铜煤矿区误差检查情况。

表1 为铅山县广丰铜煤矿区误差检查情况

序号	原始影像		参考影像		坐标误差		说明	点位误差
	x	y	x	y	Δx	Δy		
1	20510156.97	3122910.82	20510162.64	3122921.97	1.31	2.48	平原	2.80
2	20561614.50	3114282.68	20561603.85	3114259.33	1.19	-1.10	丘陵	1.62
3	20572497.33	3156447.84	20572476.97	3156461.79	1.42	-0.36	丘陵	1.47
4	20519490.42	3166596.23	20519497.37	3166641.54	-0.90	-3.86	丘陵	3.96
5	20568365.32	3135004.37	20568348.33	3135001.58	2.37	0.51	平原	2.43
6	20548966.39	3161734.16	20548984.10	3161749.25	-1.78	-5.25	丘陵	5.55
7	20516897.85	3154360.04	20516904.97	3154392.75	4.55	-2.83	丘陵	5.36
8	20512291.51	3132224.71	20512293.69	3132240.72	-2.71	0.98	平原	2.88
9	20570857.83	3145011.70	20570835.54	3145017.30	0.50	0.23	平原	0.55
10	20566169.23	3125354.93	20566150.42	3125342.92	-0.49	-0.01	平原	0.49
11	20547372.66	3115451.69	20547412.54	3115427.11	0.27	-4.60	丘陵	4.61
12	20520196.30	3120640.48	20520233.98	3120638.69	0.74	1.17	丘陵	1.39
13	20559394.98	3159089.48	20559408.26	3159106.79	5.26	1.47	丘陵	5.46
14	20546104.60	3150477.27	20546133.38	3150484.51	1.73	-3.44	平原	3.85
15	20561086.39	3147733.33	20561093.17	3147740.33	0.61	0.50	丘陵	0.79
16	20555078.95	3124959.80	20555101.35	3124950.50	-0.32	3.54	丘陵	3.56
17	20525396.53	3156356.20	20525411.88	3156391.06	-0.67	5.76	丘陵	5.80
18	20566729.62	3152536.47	20566720.28	3152545.93	-1.80	-1.23	丘陵	2.18
19	20565439.47	3141485.87	20565428.13	3141482.03	-5.41	-5.53	平原	7.74

续表1

序号	原始影像		参考影像		坐标误差		说明	点位误差
	x	y	x	y	△x	△y		
20	20541213.29	3156063.82	20541235.85	3156082.88	-2.69	1.15	丘陵	2.93
21	20521244.24	3147677.17	20521256.37	3147700.20	-2.82	0.32	平原	2.84
22	20560157.74	3139026.35	20560168.68	3139024.87	1.55	-0.69	平原	1.70
23	20550976.42	3131965.76	20551008.60	3131961.08	-0.07	1.92	平原	1.92
24	20519838.46	3141383.89	20519853.36	3141397.88	-2.52	-2.98	平原	3.90
25	20519247.81	3156430.88	20519255.06	3156473.38	0.71	6.97	丘陵	7.00
26	20556868.28	3138485.65	20556886.73	3138484.84	0.68	0.52	丘陵	0.85
27	20552627.84	3117494.67	20552652.76	3117478.24	-1.81	2.61	丘陵	3.18
28	20536866.00	3152141.36	20536897.81	3152158.99	4.13	1.55	丘陵	4.41
29	20550893.33	3127439.30	20550924.59	3127431.89	-2.21	3.05	丘陵	3.77
30	20522238.26	3134060.99	20522269.50	3134068.73	1.75	0.37	平原	1.79
31	20566881.03	3154420.84	20566871.74	3154432.39	-1.77	-0.61	丘陵	1.87

3.2 融合

资源一号 02C 卫星 HR 影像地物边界明显，纹理较清晰，建筑物纹理信息、层次较丰富。而PMS多光谱影像的地物边界模糊，纹理较不清晰，光谱信息较丰富。在数据处理过程中，将不同空间分辨率的全色与多光谱数据融合，从而使得融合后的影像既具有全色的高分辨率信息又保留多光谱丰富的光谱信息，有利于建立解译标志，减少判读的不确定性。资源一号 02C 卫星遥感数据融合过程中，使用主成分分析方法，完成全色与多光谱数据的信息叠加。图1 左图为资源一号02C融合后影像图。图中显示，融合后效果明显，地物细部特征更加清晰，光谱信息更加丰富，不同地物之间的边界清晰易辨。但是，整个影像覆盖蓝色蒙雾，对比度差。并且植被颜色呈翠绿色，建设用地呈品红色，与地物真实情况略显差异，影响影像解译效果。由此，对融合影像进行波段运算，以便得到真实效果。

3.3 波段运算

资源一号02C卫星融合后的影像，有绿、红、近红外3个波段，无蓝色波段，为了更精确地模拟真彩色影像，采用如下波段组合：

- (1) R:B2;
- (2) G:(B1*X+B3*Y)/(X+Y);
- (3) B:B1;

其中，B1为绿波段，B2为红波段，B3为近红外

波段，X、Y分别为经验值。图1为模拟真彩色的融合效果。由右图图可知，波段运算后的影像清晰、层次丰富、色调均匀、反差适中。

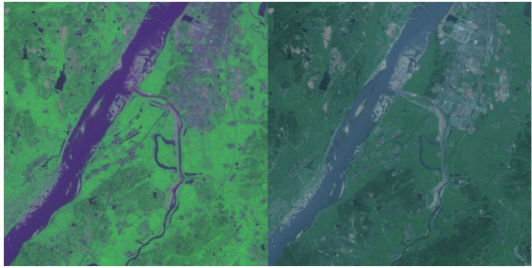


图1 左图为2,3,1波段组合后融合效果，右图为波段运算后融合效果

3.4 匀色与镶嵌

融合后影像通常亮度偏低、灰阶分布动态范围小色彩不够丰富，需要采用线性或非线性拉伸、亮度对比度、色彩平衡、色度、饱和度和明度调整等方法进行色调调整。使用包含有REEBOTOO遥感数据转换中间件的PHOTOSHOP软件，对每景待镶嵌影像单独调色，使得每景的色调一致，然后选定其中一景作为基准，对其相邻影像匀色处理，最后达到整个镶嵌影像色调的统一。基于该平台匀色镶嵌处理后的影像，纹理清晰、色调均匀、反差适中、色彩接近自然真彩色，并且自动保存其投影及坐标信息。图2为匀色镶嵌后的影像。



图2 资源一号02C卫星匀色镶嵌后成果

3.5 影像解译

影像解译时，将正射纠正影像作为背景图层与矿山相关数据以及地形图等GIS数据叠加分析，通过建立影像解译标志与参考地质矿产图等有关资料，以ARCGIS软件为平台，采用人机交互方式在正射影像图上勾绘反映矿区开发状况的图斑边界并录入相关属性，初步完成对整个研究区的专题信息解译。勾绘过程中，将暂时不能确定的图斑用特定的颜色表示，待解译完成后把图斑边界及图斑编号、融合影像、基础地理等文件添加至一个工程文件中形成实地调查底图。

为了保证影像解译的准确性及可靠性，开展野外实地调查是必要的。野外实地调查工作主要是为了修正预解译图中的错误和不确定图斑，补充和修改预解译图内容。采用点、线、面相结合的方式解译信息的野外调查验证。对于解译效果较好的地段以点验证为主；对于解译效果中等的地段须布置一定代表性路线跟踪验证；对于解译效果较差的地段，则以面验证为主。图3为使用资源一号02C卫星解译的矿山开发占地图斑。



图3 资源一号02C卫星解译的矿山开发占地图斑

表2 资源一号02C卫星遥感监测铅山县广丰铜煤矿区开发状况

序号	开采点/面	数量（处）						
		煤	铁矿	铜矿	铅锌	金矿	其他建材	合计
合法开采		122	5.00	7.00	16	4	226	380
界外开采	越界开采						6	6
	无证开采						10	10
关闭							9	9

3.6 成果图件编制

成果图件编制方法主要包括：地理底图编制、成果图件编制、整饰与注记、质量检查。

铅山县广丰铜煤矿区矿山开发状况成果图件是以全国基础地理数据库为数据源，修编形成所需的地理底图，然后分别以地理底图、资源一号02C卫星DOM影像为基础，依次叠覆矿产资源探矿权界线、采矿权界线、矿业活动图斑（或矿业活动点），形成1:5万的矿产资源遥感监测成果图件。当然，要制作完整适用的图幅，影像的整饰工作极其关键，包括添加边框、行政界线、注记、地物名称、经纬网或公里网、指北针、投影方式、比例尺、图例、图名及说明等制图要素。图4是经过整饰后的资源一号02C卫星铅山县广丰铜煤矿区矿山开发状况成果图件。

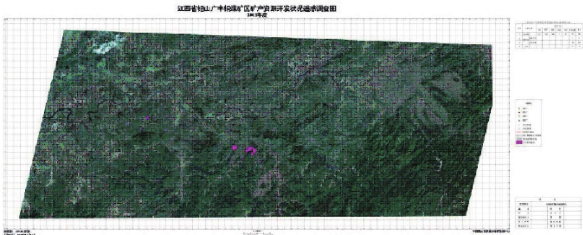


图4 资源一号02C卫星铅山县广丰铜煤矿区矿山开发状况成果图件

4 结论

本文以正射纠正、几何精校正、配准、融合、波段运算、匀色镶嵌的影像处理为基础，通过影像解译及野外调查相结合的方式提取反映矿区地质环境、生态环境、开发状况的遥感信息，最终编制出1:5万矿山监测成果图件。本次使用资源一号02C卫星遥感监测情况如下表。

研究表明:

(1) 利用资源一号02C卫星数据进行矿山监测,在技术上是可行的,形成的矿山监测成果图件可以直观、客观地反映铅山县广丰铜煤矿区开发状况,为矿山资源的可持续开发与利用,维护矿业秩序及综合整治矿区环境等提供决策依据。

(2) 资源一号02C卫星数据具有较高的空间分辨率,其HR数据空间分辨率为2.5m,与PMS多光谱(红、绿、近红外3个波段)融合处理后,兼具有较高的空间信息及纹理信息。将其波段运算处理后,能模拟自然真彩色,对地物的识别能力较好,能够从影像中快速、准确地解译与判读矿山开发占地的遥感信息。

(3) 融合影像匀色镶嵌使用包含有REEBOTOO遥感数据转换中间件的PHOTOSHOP平台处理,处理完成后影像可以自动保存投影及坐标信息,避免了影像处理因数据格式转换导致的坐标信息变化或丢失问题。

参考文献

- [1]马熹肇.资源一号“02C”卫星数据在轨测试分析[D].吉林大学,2012:1.
- [2]梁晖,杨士道.遥感技术在蓟县北部矿山开采动态监测中的应用[J].地质调查与研究,2005,28(3):180-186.
- [3]Almeida-Filho,R.,Y.E.Shimabukuro.Digital processing of a Landsat-TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon[J].Remote Sensing of Environment,2002,79(1):42-50.
- [4]黎来福,王秀丽.SPOT-5 卫星遥感数据在煤矿塌陷区监测中的应用[J].矿山测量,2008(2):45-47.
- [5]魏也纳,赵鸿燕.遥感技术在矿山开采动态监测中的应用——以豫西某铝土矿集区为例[J].地域研究与开发,2011,3(2):152-155.
- [6]褚进海,彭鹏,李郑,贾丽萍.遥感技术在矿山遥感调查与监测中的应用[J].2009,19(3):194-199.
- [7]丁丽,朱谷昌,王娟,张建国等. IKONOS影像在矿山环境遥感监测中的应用——以白银煤矿区为例[J].测绘与空间地理信息,2010,33(1):37-41.
- [8]<http://www.sreph.gov.cn>

Application of the Resource No.1 02C Satellite in Development and Monitoring of Key Mining Areas in Jiangxi Province

Wang Jie, Li Qian, Li Li, Liu Xiaoyang

(China Land Resources Aviation Geophysical Prospecting Center, Beijing 100083)

Abstract: By using the Resource No.1 02C satellite data of year 2012 and based on the orthorectification, geometry refinement, registration, fusion and band operations, this paper, the Guangfeng copper mine in Qianshan County, Jiangxi Province, is selected as the working area, uses the PS software uniform mosaic which contains the REEBOTOO remote sensing data conversion middleware to obtain the simulation of true color orthophoto map. At the same time, the author extracted the remote sensing information reflecting the development status of the mining area by means of human-computer interaction interpretation and field survey to compiler the maps of the 1: 50000 mine development status monitoring results. It can intuitively and objectively reflect the status of mine development in the study area and provide decision-making basis for the sustainable development and utilization of mine resources, maintaining the mining order and comprehensively improving the mine environment.

Keywords: Resource No. 1 02C satellite; Image processing; Mine monitoring; Jiangxi Province