

# 长山沟露天矿集中区土地利用时空变化的遥感监测与分析

刘硕<sup>1,2</sup>, 李小光<sup>3,5</sup>, 宋建伟<sup>1,2</sup>, 单强<sup>1,2</sup>, 鲁明星<sup>4,5</sup>

(1.河北省地质环境监测院, 河北 石家庄 050000; 2.河北省地质资源环境监测与保护重点实验室, 河北 石家庄 050000; 3.华北理工大学 矿业工程学院, 河北 唐山 063210; 4.防灾科技学院 应急管理学院, 河北 廊坊 065201; 5.河北省矿区生态修复产业技术研究院, 河北 唐山 063210)

**摘要:** [目的] 分析露天矿集中区土地利用时空变化特征, 为开展露天矿区生态环境监测提供科学参考。[方法] 以河北省唐山市长山沟露天矿集中区为研究对象, 基于 2003, 2010, 2015 和 2019 年 4 期 Google Earth 影像, 进行土地利用遥感分类, 使用 ArcGIS 软件计算土地利用转移矩阵, 分析露天矿集中区土地利用时空变化特征及原因。[结果] ① 2003—2015 年, 研究区内绿地面积减少了 169.61 hm<sup>2</sup>, 占总面积的 6.30%, 裸地和工业场地面积分别增加了 184.73 和 60.46 hm<sup>2</sup>, 占总面积的 6.86% 和 2.25%; 部分耕地被占用; 在空间上以绿地转为裸地和工业场地为主。② 2015—2019 年, 研究区内绿地面积减少了 61.05 hm<sup>2</sup>, 占总面积的 2.27%, 工业场地面积增加了 43.90 hm<sup>2</sup>, 占总面积的 1.63%, 其他地类面积变化不大; 空间上绿地与裸地和工业场地相互转化, 总面积变化不大。[结论] 露天矿集中区开采前期大量绿地被占用, 植被破坏与土地资源占用现象较为严重, 生态环境受到了严重的影响。开采后期由于加强了矿山生态修复治理, “边开采, 边治理”模式的治理效果已初步体现。

**关键词:** 露天矿开采; 生态环境; 遥感; 动态监测

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2021)04-0121-07

**中图分类号:** TD167, P237

**文献参数:** 刘硕, 李小光, 宋建伟, 等. 长山沟露天矿集中区土地利用时空变化的遥感监测与分析[J]. 水土保持通报, 2021, 41(4): 121-127. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.04.017; Liu Shuo, Li Xiaoguang, Song Jianwei, et al. Remote sensing monitoring and analysis of spatiotemporal changes in Changshangou open pit mine concentration area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(4): 121-127.

## Remote Sensing Monitoring and Analysis of Spatiotemporal Changes in Changshangou Open Pit Mine Concentration Area

Liu Shuo<sup>1,2</sup>, Li Xiaoguang<sup>3,5</sup>, Song Jianwei<sup>1,2</sup>, Shan Qiang<sup>1,2</sup>, Lu Mingxing<sup>4,5</sup>

(1. The Institute of Geo-environment Monitoring of Hebei Province, Shijiazhuang, Hebei 050000, China; 2. Hebei Key Laboratory Geological Resources Environment Monitoring and Protection, Shijiazhuang, Hebei 050000, China; 3. College of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei 063210, China; 4. School of Emergency Management, Institute of Disaster Prevention, Langfang, Hebei 065201, China; 5. Hebei Industrial Technology Institute of Mine Ecological Remediation, Tangshan, Hebei 063210, China)

**Abstract:** [Objective] The spatiotemporal characteristics of land use changes were studied to provide scientific reference for carrying out ecological and environmental monitoring in concentration area of open pit mine. [Methods] Based on Google Earth images in 2003, 2010, 2015 and 2019, the land use remote sensing classification was carried out in Changshangou open-pit mine concentration area in Tangshan City, Hebei Province. The land use transfer matrix was calculated by using ArcGIS software, and the spatio-temporal characteristics and causes of land use change in the open-pit mine concentration area were analyzed. [Results] ① From 2003 to 2015, the area of greenland in the study area decreased by 169.61 hm<sup>2</sup>, accounting for 6.30% of the total area, and the area of bare land and industrial sites increased by 184.73 hm<sup>2</sup> and 60.46 hm<sup>2</sup>,

收稿日期: 2020-11-27

修回日期: 2021-05-10

资助项目: 唐山市科技创新团队培养计划项目“唐山市矿区生态修复研究基础创新团队”(19130206C); 唐山市科学技术研究与发展计划重点项目(19150247E); 中央高校基本科研业务费专项(ZY20210219)

第一作者: 刘硕(1982—), 男(汉族), 河北省邢台市人, 硕士, 高级工程师, 主要从事矿山地质环境调查与监测方面的研究。Email: 13731170032@126.com。

通讯作者: 李小光(1976—), 男(汉族), 河北省乐亭县人, 博士, 讲师, 主要从事矿区生态修复与重建方面的研究。Email: 77254736@qq.com。

accounting for 6.86% and 2.25% of the total area, respectively; some arable land was occupied; spatially, greenland was mainly converted to bare land and industrial sites. ② From 2015 to 2019, the area of greenland in the study area decreased by 61.05 hm<sup>2</sup>, accounting for 2.27% of the total area, and the area of industrial sites increased by 43.90 hm<sup>2</sup>, accounting for 1.63% of the total area, with little changes in the area of other land use types; spatially greenland was transformed into bare land and industrial sites, with little change of the total area. [Conclusion] In the early stage of mining, a large amount of green land was occupied in the open pit mine, the vegetation destruction and land resource occupation was serious, and the ecological environment was seriously affected. At the late stage of mining, the ecological restoration and treatment of the mine were strengthened, and the effect of “management while mining” mode was initially achieved.

**Keywords:** open-pit mining; ecological environment; remote sensing; dynamic monitoring

露天开采方式破坏了矿区和周边区域的生态平衡和地质稳定性<sup>[1]</sup>,出现了一系列的滑坡、崩塌<sup>[2]</sup>、土壤流失<sup>[3]</sup>、大气污染、原有地貌景观破坏等<sup>[4]</sup>地质灾害和环境污染问题。近年来国家对生态环境越来越重视,矿山生态修复由过去的“先破坏后治理的采后治理<sup>[5]</sup>”模式逐步走向了“边开采一边治理”的模式。传统人工监测矿山生态修复效果的方式,需要投入大量的人力、物力和财力,且监测效果较差。利用遥感技术对露天矿山环境状况进行动态监测具有信息量大、成本低、精确度高等优势<sup>[6]</sup>。目前学者大多采用空间分辨率为 30 m 的 Landsat 卫星遥感数据,进行矿区生态环境监测。毕如田等<sup>[7]</sup>基于 Landsat TM 卫星影像对安太堡大型露天煤矿土地利用覆被变化类型进行了监测与分析。高文龙等<sup>[8]</sup>基于 4 期 Landsat 影像,对海流兔流域矿区多种土地分类方法进行对比,重点分析了不同地物类型与环境恶化间的关系。由于矿区范围一般较小,利用中低空间分辨率的 Landsat 卫星数据进行分析,准确性和精度方面均比较受限。谷歌地球<sup>[9]</sup>(Google Earth, GE)是一款由 Google 公司开发的虚拟地球仪软件,其集成的遥感影像具有较高的空间分辨率,适用于小尺度范围的空间动态变化监测,已被广泛应用于区域土地利用类型精细识别。如刘小阳<sup>[10]</sup>基于 Google Earth 影像对以贵州省松桃县后寨村为研究区,进行了土地开发项目的规划设计。刘佳<sup>[11]</sup>以面积大约为 13.02 km<sup>2</sup> 的中国农业科学院农业高新技术产业园区为研究区基于 Google Earth 影像对农作物面积进行地面样方调查。本文以长山沟露天矿集中开采区为研究对象,基于 2003—2019 年 Google Earth 高分辨率影像,对境内 17 a 间土地利用覆被变化进行动态监测,为露天矿山生态修复提供一定的科学依据。

## 1 研究区简介、数据来源

### 1.1 研究区概况

长山沟露天开采区位于河北省唐山市古冶区西

北部、开平区东北部以及陡河水库东部山区,面积约 20 km<sup>2</sup>。境内主要为露天矿开采方式,且分布较为集中。矿区位于燕山南麓、开平盆地北缘,属低山丘陵区,海拔标高从 23~273 m,地形起伏变化大,地貌单元类型较多。开采主要矿种为建筑石料用灰岩、生产水泥用石灰石矿。露天开采前研究区野生植物丰富,主要有乔木、灌木和草类等,种类丰富多样,主要有酸枣、荆条、爬山虎等,人工栽植树种多为杨树、旱垂柳、松树等。

### 1.2 数据来源

选取 2003, 2010, 2015 和 2019 年 4 期覆盖研究区的夏季 Google Earth 影像,空间分辨率为 0.92 m,投影坐标为 WGS84\_WEB 墨卡托投影<sup>[11]</sup>。以研究区西南部的 2018 年 12 月的 0.3 m 分辨率的无人机正射影像作为参考影像,分别为对 2003, 2010, 2015 和 2019 年 4 期 Google Earth 影像进行几何校正,使 4 期影像数据的几何上误差控制在 0.5 个像元之内。

## 2 数据处理

### 2.1 面向对象分类

采用面向对象分类方法进行土地利用覆被初步分类<sup>[12-13]</sup>,在此基础上通过人工判读进行目视解译。面向对象分类方法是将影像分割得到同质对象,再根据地物类型的光谱、形状、空间关系等特征建立规则,将对象分配到相应的类中。其核心步骤是多尺度分割,分割的好坏直接影响到分类结果的精度。分割尺度对分类结果的影响最为明显,尺度设置的越大,像元合并的面积就越大,获得的对象越少,越容易造成像元混淆的现象,反之则导致分割对象过于破碎,大大增加工作量;光滑度和紧凑度、形状因子和光谱因子的取值范围均为 0.1~0.9,参数的和均是 1<sup>[14]</sup>。采用试错法选择最优分割尺度,分割尺度以 20 为步长,从 60 到 200,不断改变分割尺度、形状和紧密度的权重,得到不同尺度的分割结果。选取形状因子为 0.6,紧凑度为 0.5,分割尺度分别为 50, 100, 150 对研究区

进行多尺度分割<sup>[15]</sup>。试验发现,当分割尺度 50 时地类图斑过于零碎,当分割尺度 150 时地类图斑合并严重,当分割尺度分 100 时不同地物类型均得到较好的

分割(图 1)。基于分割对象进行样本选取,得到对象的光谱、纹理特征等多特征信息,进而利用对象的特征信息进行分类。

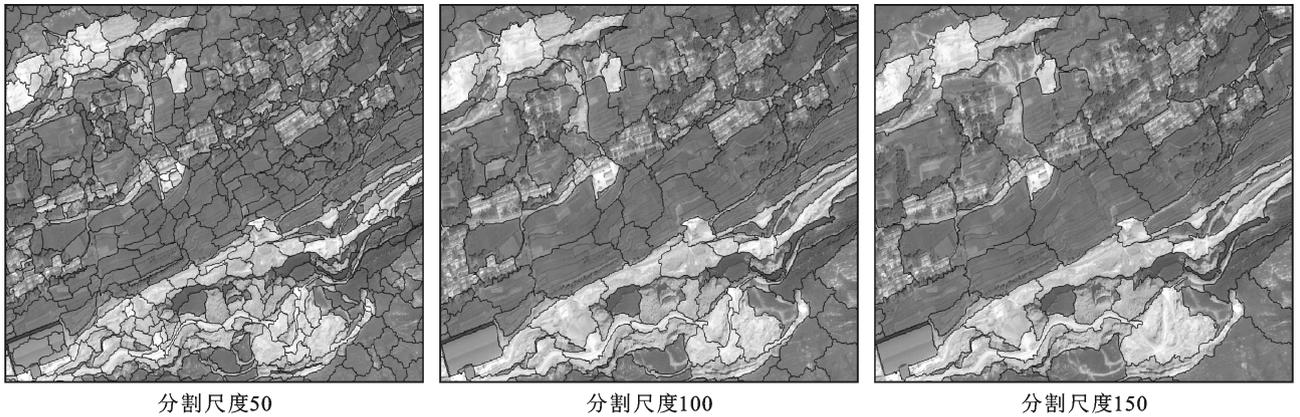


图 1 不同分割尺度的影像分割试验

### 2.2 土地利用遥感分类

参照《土地利用现状分类(GB/T210102017)》<sup>[16]</sup>和《矿山生态环境保护与恢复治理技术规范(HJ651-2013)》<sup>[17]</sup>,根据实地调查和遥感卫星影像,基于面向对象分类方法将研究区境内地物划分为 7 大类:耕地、交通过地、居民地、绿地(林地、果园和草地)、工业场地、裸地(裸土和裸岩)。其中工业场地是指露天开采矿山生产系统和辅助生产系统服务的地面建筑物、构筑物以及有关设施的场地。在基于面向对象分类结果基础上,对居民地、工业场地等地物类型进行人工判读,得到研究区各期土地利用分类结果。基于西南部以 2018 年 0.3 m 分辨率的无人机正射影像数据和三维数据选取 110 个样本点(图 2),其他研究区基于外业实际调查选取 120 个样本点。通过对验证样本和分类结果对比,得到土地利用分类混淆矩阵

(表 1),总体分类精度 92.17%,kappa 系数 0.90,精度较高。

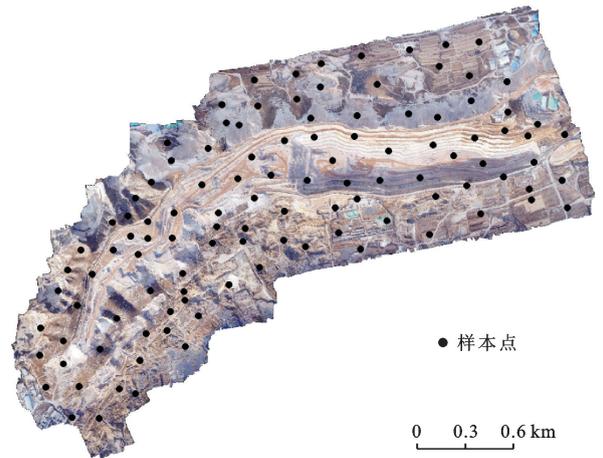


图 2 研究区西南部样本点分布

表 1 研究区土地遥感分类混淆矩阵

样点	分类结果						
	耕地	工业用地	交通过地	居民地	裸地	绿地	水体
耕地	32	0	0	0	1	2	0
工业用地	1	34	1	2	0	0	0
交通过地	0	0	10	1	0	1	0
居民地	1	1	0	43	0	0	0
裸地	0	0	0	0	38	2	0
绿地	1	2	0	2	0	49	0
水体	0	0	0	0	0	0	6
制图精度/%	91.43	89.47	83.33	95.56	95.00	90.74	100.00
分户精度/%	91.43	91.89	90.91	89.58	97.44	90.74	100.00
总体精度/%				92.17			
kappa 系数				0.90			

### 3 土地利用时空变化分析

#### 3.1 长山沟露天矿集中区土地利用变化分析

长山沟露天矿集中区 4 期土地利用空间分布如附图 1(见封 2)所示。通过 4 期土地遥感分类结果对比发现前期绿地表面明显减少,耕地有所减少,裸地较大幅度增加;后期绿地面积、裸地面积变化较小。长山沟露天矿集中区土地利用类型面积变化情况详见表 2。2003—2019 年,耕地面积大幅度下降,减少

了 104.85 hm<sup>2</sup>;2003—2019 年,耕地所占研究区面积的比例由 2003 年的 15.49%降低到 2019 年的 11.56%,但减少面积逐渐降低。从 2003—2019 年期间工业场地面积逐年增加,面积占比增加了 3.88%。从 2003—2010 年交通用地面积增加较快,2010—2019 年,增加幅度较小。2003—2019 年,居民地面积逐年增加,增加幅度较小,占比增加了 1.40%;裸地逐年增加,后期增加幅度小;绿地逐年减少,前期减少幅度大,后期减少幅度小;水体面积,保持在 7.00 hm<sup>2</sup>,变化幅度较小。

表 2 研究区 2003—2019 年土地利用类型面积及比例统计

土地类型	2003 年		2010 年		2015 年		2019 年	
	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%						
耕地	416.91	15.49	360.71	13.40	317.47	11.79	311.15	11.56
工业场地	282.72	10.50	298.44	11.09	343.18	12.75	387.08	14.38
交通用地	35.35	1.31	47.82	1.78	49.29	1.83	50.14	1.86
居民地	173.93	6.46	177.80	6.60	183.64	6.82	190.17	7.06
裸地	462.46	17.18	603.14	22.40	647.19	24.04	661.66	24.58
绿地	1 314.57	48.83	1 197.13	44.47	1 144.96	42.53	1 083.91	40.26
水体	6.24	0.23	7.14	0.27	6.45	0.24	8.07	0.30
总面积	2 692.18	100.00	2 692.18	100.00	2 692.18	100.00	2 692.18	100.00

#### 3.2 研究区土地利用结构变化分析

3.2.1 土地利用转移矩阵 土地利用转移矩阵是马尔科夫模型在土地利用方面的应用,可以用矩阵的形式定量的表示研究时间内各地类的流向及数量,转移矩阵的公式可表示为<sup>[19-20]</sup>:

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \cdots & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{n1} & \cdots & \cdots & R_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $R_{ij}$ 为地类  $i$  转换为地类  $j$  的面积; $n$  为地类数量。基于长山沟露天矿集中区 4 期土地利用分类结果获取 2003—2010,2010—2015,2010—2015 年和 2003—2019 年长山沟片区土地利用转移矩阵(表 3—6)。

3.2.2 研究区各阶段土地利用结构分析 由表 3 可得,研究区 2003—2010 年地类转移面积从高到低为:裸地>绿地>耕地>工业场地>交通用地>居民地>水体。期间裸地共增加了 140.68 hm<sup>2</sup>,主要来源于绿地、工业场地、耕地;绿地面积共减少了 117.44 hm<sup>2</sup>,主要转为裸地、工业场地、耕地;耕地减少了 56.20 hm<sup>2</sup>,主要转为工业场地、裸地、绿地。工业场地增加了 19.75 hm<sup>2</sup>,主要来源于绿地、裸地、耕地。表明期间露天矿采场的无序扩大,占用了大量的绿地、耕地。由表 4 可得,研究区 2010—2015 年地类转移面积从高到低

为:绿地>裸地>工业场地>耕地>居民地>交通用地>水体。期间绿地共减少了 52.17 hm<sup>2</sup>,主要转为裸地、工业场地、耕地;裸地面积共减少了 44.05 hm<sup>2</sup>,主要转为绿地、工业场地;工业场地增加了 44.74 hm<sup>2</sup>,主要来源于绿地、裸地。表明期间露天石矿开采继续扩大,占用了大量的绿地,同时部分裸地由于生态修复恢复为绿地。由表 5 可得,研究区 2015—2019 年主要地类转移面积从高到低为:绿地>工业场地>裸地>居民地>耕地。期间绿地共减少了 61.05 hm<sup>2</sup>,主要转为裸地、工业场地、耕地;工业场地面积增加 43.91 hm<sup>2</sup>,主要来源为:绿地、裸地。裸地、居民地、耕地总体数量变化不大,但绿地、工业场地、裸地之间的相互转换较大。表明近几年加强了矿山生态修复,露天矿开采的同时,也进行了生态修复,整个研究区的生态环境已经向好的方向发展,“边开采,边治理”模式得到了体现。由表 6 可得,研究区 2003—2019 年地类转移面积从高到低为:绿地>裸地>耕地>工业场地>居民地>交通用地>水体。期间绿地共减少了 230.66 hm<sup>2</sup>,主要转为裸地、工业场地、耕地;裸地面积增加 199.21 hm<sup>2</sup>,主要来源于绿地、工业场地、耕地。耕地共减少 105.77 hm<sup>2</sup>,主要转向了绿地、工业场地、裸地。表明期间露天矿开采对环境的破坏带来的严重后果:绿地大量减少,裸地、工业场地面积增加。

表 3 研究区 2003—2010 年土地利用转移矩阵

hm<sup>2</sup>

土地类型	2010 年							合计
	耕地	工业场地	交通用地	居民地	裸地	绿地	水体	
耕地	305.42	19.75	4.44	1.27	23.49	62.27	0.27	416.91
工业场地	4.31	185.17	4.06	1.43	36.29	51.40	0.06	282.72
交通用地	0.71	3.17	26.62	0.48	1.56	2.81	0	35.35
居民地	0	0.76	0.02	170.55	0.01	2.59	0	173.93
裸地	2.97	22.56	1.10	1.46	334.26	100.06	0.05	462.46
绿地	47.24	66.94	11.58	2.61	207.43	977.25	1.52	1 314.57
水体	0.06	0.09	0	0	0.10	0.75	5.24	6.24
合计	360.71	298.44	47.82	177.8	603.14	1 197.13	7.14	2 692.18
2003—2010 年变化	-56.20	15.72	12.47	3.87	140.68	-117.44	0.9	0

表 4 研究区 2010—2015 年土地利用转移矩阵

hm<sup>2</sup>

土地类型	2015 年							合计
	耕地	工业场地	交通用地	居民地	裸地	绿地	水体	
耕地	299.73	19.44	0.58	0.64	5.17	35.15	0	360.71
工业场地	2.95	241.55	1.05	1.81	23.29	27.79	0	298.44
交通用地	0.89	0.66	42.74	0.03	2.15	1.35	0	47.82
居民地	0.10	2.05	0.29	171.28	0.72	3.36	0	177.8
裸地	3.47	48.41	3.03	1.84	464.99	81.35	0.05	603.14
绿地	10.33	30.46	1.6	8.04	150.87	995.83	0	1 197.13
水体	0	0.61	0	0	0	0.13	6.4	7.14
合计	317.47	343.18	49.29	183.64	647.19	1 144.96	6.45	2 692.18
2010—2015 年变化	-43.24	44.74	1.47	5.84	44.05	-52.17	-0.69	0

表 5 研究区 2015—2019 年土地利用转移矩阵

hm<sup>2</sup>

土地类型	2019 年							合计
	耕地	工业场地	交通用地	居民地	裸地	绿地	水体	
耕地	235.27	19.12	0.41	2.65	15.64	43.81	0.57	317.47
工业场地	13.89	217.07	0.46	8.65	49.53	52.63	0.94	343.17
交通用地	0	0.48	48.13	0	0	0.68	0	49.29
居民地	1.38	5.83	0.01	159.89	4.11	12.40	0.02	183.64
裸地	10.93	65.52	0.46	4.05	426.42	139.53	0.29	647.2
绿地	48.03	78.77	0.53	14.91	165.46	834.01	3.25	1 144.96
水体	1.66	0.29	0.14	0.02	0.5	0.84	3	6.45
合计	311.15	387.08	50.14	190.17	661.66	1 083.91	8.07	2 692.18
2015—2019 年变化	-6.32	43.91	0.85	6.53	14.46	-61.05	1.62	0

表 6 研究区 2003—2019 年土地利用转移矩阵

hm<sup>2</sup>

土地类型	2019 年							合计
	耕地	工业场地	交通用地	居民地	裸地	绿地	水体	
耕地	240.29	43.32	6.12	6.7	31.54	88.18	0.76	416.91
工业场地	8.15	143.18	4.45	6.68	60.68	59.36	0.22	282.72
交通用地	1.79	0.84	23.29	0.82	4.15	4.46	0	35.35
居民地	1.89	5.10	0.46	150.04	3.80	12.64	0	173.93
裸地	5.81	65.99	2.77	4.75	235.35	146.27	1.52	462.46
绿地	51.34	128.10	12.91	21.16	325.94	771.86	3.26	1 314.57
水体	1.88	0.55	0.14	0.02	0.20	1.14	2.31	6.24
合计	311.15	387.08	50.14	190.17	661.67	1 083.91	8.07	2 692.18
2003—2019 年变化	-105.76	104.36	14.79	16.24	199.20	-230.66	1.83	0

### 3.3 研究区分区土地利用结构变化分析

研究区根据露天开采破坏程度、生态修复程度、

集中开采程度及地形情况可以细分为 3 个集中开采区长山区、巍山区、高山区。长山区位于研究区的东

部,巍山区位于研究区的西北部即山脊的北侧,高山区位于研究区西南部即山脊的南侧。

3.3.1 长山区地类变化驱动力分析 长山区、巍山区露天开采破坏、修复情况相似,以长山区为例进行分析。由图 3 可知,2003 年生态环境良好,地表植被没有被破坏,到 2015 年,由于露天采严重破坏了生态环境,

地表植被破坏严重。2003—2015 年采矿用地(工业场地、裸地)面积大幅度增加,绿地面积大幅度减少,采矿用地增加量与绿地减少量基本相当(表 7)。唐山市矿业资源丰富,开发历史悠久,是典型的重工业城市。由于受经济利益的驱使,长山区露天开采持续加强,使用生态环境遭到严重破坏,矿山生态环境亟需修复。



2003年影像



2015年影像

图 3 长山区 2003—2015 年地表景观影像对比

表 7 研究区 2003—2015 年土地利用类型面积及比例统计

土地类型		2003 年	2015 年
采矿用地	工业场地	19.65	32.11
	裸地	59.07	125.22
	小计	78.72	157.33
绿地		315.24	236.49

3.3.2 高山区地类变化驱动力分析 通过土地利用转移矩阵可以高山区露天开采区在 2015 年以前矿山生态修复效果不明显,露天开采严重破坏了生态环境。近年来在习近平主席的“绿水青山就是金山银

山”理论指导下,矿山生态修复工作有序进行。从 2014 年开始河北省政府通过关闭、治理、提升等一系列措施开展了矿山环境治理攻坚行动。近三年河北省开展了无主露天矿山的全面生态修复治理工作。高山区为某一大型石灰石矿,在生产过程中注重矿山生态修复工作,经过几年的努力,矿山生态修取得了一定的效果。图 4 表明从露天开采破坏的地表植被得到了有序修复,开采平台植了树,坡面进行了绿化,植被覆盖率明显提高。图 5 拍摄于 2020 年夏季,矿山生态修复治理正在进行削坡、清理浮石等工作,说明“边开采一边治理”的模式正在落实。



2015年修复前影像



2019年修复后影像

图 4 高山区 2003—2015 年地表景观影像对比



图 5 高山区 2020 年无人机拍摄景观影像

## 4 结论

(1) 研究区 2003—2019 年绿地面积由 1 314.57 hm<sup>2</sup>, 减少到 1 083.91 hm<sup>2</sup>, 减少了 230.66 hm<sup>2</sup>; 工业场地面积由 282.72 hm<sup>2</sup>, 增加到了 387.08 hm<sup>2</sup>, 增加了 104.36 hm<sup>2</sup>; 裸地由 462.46 hm<sup>2</sup>, 增加到了 661.66 hm<sup>2</sup>, 增加了 199.20 hm<sup>2</sup>。绿地减少的主要原因是露天开采工业场地的增加, 地表植被被破坏裸地面积大幅度增加。

(2) 研究区 2003—2015 年, 绿地面积由 1 314.57 hm<sup>2</sup> 减少到 1 144.96 hm<sup>2</sup>, 减少了 169.61 hm<sup>2</sup>; 裸地由 462.46 hm<sup>2</sup>, 增加到了 647.19 hm<sup>2</sup>, 增加了 184.73 hm<sup>2</sup>; 工业场地面积由 282.72 hm<sup>2</sup> 增加到了 343.18 hm<sup>2</sup>, 增加了 60.46 hm<sup>2</sup>, 绿地减少, 工业场地增加, 裸地面积增加主要集中在本期。

(3) 研究区 2015—2019 年, 期间绿地共减少了 61.05 hm<sup>2</sup>, 工业场地增加 43.90 hm<sup>2</sup>, 裸地增加 14.47 hm<sup>2</sup> 其他地类面积变化不大。但由土地利用转移矩阵可知, 绿地、裸地、工业场地间的相互转变面积较大, 结合 2020 年实际调研可知, 2015 年以后唐山市加强了矿山生态修复, 并取得了显著成效, “边开采, 边治理”模式的作用初步得到了体现。

### [ 参 考 文 献 ]

[1] 汪洁, 殷亚秋, 于航, 等. 基于 RS 和 GIS 的浙江省矿山地质环境遥感监测[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(1): 232-236.

[2] 高云峰, 徐友宁, 陈华清. 露天矿硬岩边坡复绿技术现状及存在问题[J]. 中国矿业, 2019, 28(2): 60-65.

[3] 杨振意, 薛立, 许建新. 采石场废弃地的生态重建研究进展[J]. 生态学报, 2012, 32(16): 5264-5274.

[4] 吴冠辰, 鲁明星, 郑震. 基于遥感技术的露天铁矿扩帮生态环境现状评价研究[J]. 矿业研究与开发, 2019, 39(5): 115-118.

[5] 张丙涛, 刘艳章, 李海龙, 等. 朝国露天矿动态复垦模式研究[J]. 金属矿山, 2015, 44(4): 61-65.

[6] 张正鹏, 武文波. 基于 GIS 技术的沈阳矿区土地资源利用变化监测[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(10): 38-41.

[7] 毕如田, 白中科, 李华, 等. 基于 RS 和 GIS 技术的露天矿区土地利用变化分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 201-204.

[8] 高文龙, 苏腾飞, 张圣微, 等. 矿区地物分类及土地利用/覆盖变化动态监测: 以海流兔流域为例[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(3): 232-239.

[9] 许福, 董荟青. 基于 Google Earth 的公路路政信息化管理研究[J]. 公路, 2016, 61(10): 166-171.

[10] 刘小阳, 孙广通, 刘辉, 等. Google Earth 在土地开发项目规划设计中的应用[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(6): 172-175.

[11] 刘佳, 王利民, 滕飞, 等. Google Earth 影像辅助的农作物面积地面样方调查[J]. 农业工程学报, 2015, 31(24): 149-154.

[12] 余先川, 安卫杰, 贺辉. 基于面向对象的无监督分类的遥感影像自动分类方法[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(2): 744-749.

[13] 黎新亮, 赵书河, 芮一康, 等. 面向对象高分辨遥感影像分类研究[J]. 遥感应用, 2007(6): 58-61, 93, 106.

[14] 满卫东, 李春景, 王宗明, 等. 基于面向对象分类方法的乌苏里江流域中俄跨境区域湿地景观动态研究[J]. 遥感技术与应用, 2016, 31(2): 378-387.

[15] Jia mingming, Li Lin, Ren Chunying, et al. Mapping China's mangroves based on an object-oriented classification of Landsat imagery [J]. Wetlands, 2014, 34(2): 277-283.

[16] 国土资源部. GB/T21010-2017 土地利用现状分类标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

[17] 环境保护部. HJ651-2013 矿山生态环境保护与恢复治理技术规范(试行)[S]. 北京: 中国环境出版社, 2013.

[18] 战甜, 张武文, 包亮, 等. 基于 3S 的霍林河一号露天矿区土地利用动态变化研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2017, 38(1): 58-64.

[19] 王冬辰, 杜培军, 苏红军, 等. 近 20 年大同市土地利用/覆盖遥感变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(7): 68-75.

[20] 张前进, 白中科, 郝晋珉, 等. 基于 GIS 的露天煤矿区土地动态变化分析[J]. 生态经济, 2006(9): 36-38.