

# 绿色矿山遥感监测方法研究

张勇<sup>1</sup>, 王焜飞<sup>2</sup>, 郭斌<sup>1</sup>, 王亮<sup>2</sup>

(1. 内蒙古自治区地质调查研究院, 呼和浩特 010020; 2. 中关村绿色矿山产业联盟, 北京 100089)

**[摘要]** 近年来,绿色矿山建设取得了较大成效,但也存在多部门协同监管难度大、定性指标比重偏高等问题,对标全新的绿色矿山建设评价指标,利用高分辨率遥感影像开展绿色矿山评估、复核和监督工作,有利于提高绿色矿山评估水平、强化绿色矿山监管。本文立足于绿色矿山新阶段、新形势、新要求,针对矿山采选、生态修复、环境保护等场景特点,在梳理遥感监测工作历程的基础上,阐述和分析了绿色矿山遥感监测的工作机理,剖析了遥感监测在矿区生态环境、资源开发方式、资源综合利用、绿色低碳等监测对象和内容,并根据绿色矿山建设阶段性特征,论述了绿色矿山建设前期、中期和后期的遥感监测重点,从而实现快速过滤和筛选问题矿山的目的。

**[关键词]** 绿色矿山; 遥感监测; 评价指标

**[中图分类号]** TD676

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 2097-2423(2025)01-0071-06

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2025.01.012

## 0 引言

绿色矿山是不断发展和演进的。2011年国家级绿色矿山试点开始,2017年绿色矿山建设上升为国家战略和行动。此后,自然资源部相继印发了《绿色矿山评价指标》和《绿色矿山遴选第三方评估工作要求》<sup>[1-2]</sup>,规范和量化了绿色矿山遴选和评估,2022年又组织实施了绿色矿山“回头看”行动,进行全面复核和整改。截止2023年底,全国共有国家级绿色矿山1073个,树立了一批极具示范作用的先进绿色矿山典型<sup>[3]</sup>。2024年4月,自然资源部等七部委联合印发了《关于进一步加强绿色矿山建设的通知》(自然资规[2024]1号),提出了全面推进绿色矿山建设的新要求和方向,标志着绿色矿山驶入快车道。

近年来,虽然绿色矿山建设取得了较大成效,但

也存在多部门协同监管难度大、定性指标比重偏高等问题,这些问题制约着绿色矿山建设工作的进一步开展和效果提升。因此,对标全新的绿色矿山建设评价指标,利用高分辨率遥感影像开展绿色矿山评估、复核和监督工作,对于提高绿色矿山评估水平、强化绿色矿山监管手段具有重要的意义。

## 1 遥感技术助力绿色矿山监管

绿色矿山监督管理是一项兼具技术性和政策性的工作,常规性的监管方式和评估方法以现场走访、资料查询为主,存在调查周期长、数据更新慢、统计口径不一致等问题,已远远无法满足新时期规划管控需要。此外,部分第三方评估结果的科学性、客观性也备受质疑。充分发挥遥感技术探测范围广、获取数据周期短、监测精度高的优势,全方位、全流程监控绿色矿山建设情况,客观地评价和反馈存在的问题,是绿色矿山监管相对成熟和可靠的技术手段。

2006年,中国地质调查局部署开展了全国重点矿集区、矿山环境问题区的遥感监测工作<sup>[4]</sup>,2015年又部署开展了全国矿产资源开发环境遥感监测工作,重点调查了全国陆域矿产资源开发、矿山地质环境、矿产资源规划执行等状况<sup>[5]</sup>。2017年,自然资源航空物探遥感中心先行对国家绿色矿山试点单位进行了动态监测工作,先后编制和出版了《全国绿色矿山遥感监测成果图集》《全国绿色矿山遥感监测工作报告》等书籍。2019年,在第二轮中央生态环境保护督查中,在库的国家级绿色矿山、省级绿色

**[收稿日期]** 2024-10-11

**[基金项目]** 内蒙古自治区矿山地质环境动态遥感监测、内蒙古自治区绿色矿山建设技术支撑项目。

**[作者简介]** 张勇(1987—),男,高级工程师,主要从事资源与环境遥感应用研究、矿山地质环境调查与监测、矿山生态保护与修复、绿色矿山建设等工作。

**[引用格式]** 张勇,王焜飞,郭斌,等.绿色矿山遥感监测方法研究[J].绿色矿冶,2025,41(1):71-76,87.

ZHANG Yong, WANG Kunfei, GUO Bin, et al. Research and application of remote sensing monitoring methods for green mines[J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2025, 41(1): 71-76, 87.

矿山开展了越界开采、破坏土地、生态修复等方面的遥感监测。2019年、2020年自然资源部在国家级绿色矿山遴选中对各省拟申报入库的矿山实现了全覆盖遥感评估。2022—2023年自然资源部、各省自然资源主管部门在绿色矿山“回头看”“实地抽查核查”工作中多次利用遥感技术筛查绿色矿山,发现了一批存在违法违规开采、环境治理不到位、生态修复滞后、违规占用土地等问题的矿山。

利用遥感技术,充分借鉴前期矿山遥感监测与评估经验,可发挥亚米级高分辨率遥感影像在绿色矿山审核入库、日常监督、抽查检查等工作的客观性和准确性,对标全新评价指标,检查矿区环境、资源开采、资源综合利用、绿色低碳、生态修复与环境治理等方面,分析和判断是否符合绿色矿山建设要求,同时反馈问题矿山名单,确保疑似问题发现在源头,解决在源头,有效提高绿色矿山入库合格率,大幅度节约行政管理成本。

## 2 遥感监测工作机理

### 2.1 遥感数据源

绿色矿山遥感监测工作重点是判断和识别绿色矿山建设要素的分布区域、变化特征、发展趋势等信息<sup>[6]</sup>,采用高时间分辨率和高空间分辨率兼具的遥感数据,覆盖绿色矿山建设的全过程。近年来,随着国产卫星数据的不断投入使用,如高分二号、高分七号、北京二号、北京三号、吉林一号、高景一号、珠海一号、宏图一号等亚米级数据,高空间分辨率的遥感数据应用率稳步提升。为了可持续开展绿色矿山遥感监测工作,各地可依托已建立的国土资源卫星应用中心、高分中心等遥感服务机构,选择高效实用、性价比高的国产高分系列卫星数据作为首要数据

源,其他商业卫星可作为补充适时使用。

### 2.2 数据处理

数据处理是绿色矿山遥感监测的前提和基础,本文重点探讨必须进行的数据处理内容,对于处理方法不作深究。根据绿色矿山的聚集程度,可按单个矿山或集中开采区处理,对于呈面状分布的绿色矿业发展示范区,可按照区域范围整体处理,在正射校正、影像融合、匀色镶嵌、影像配准、影像裁剪后提交3A级数据产品。数据融合后主要获取真彩色合成图像,满足后续遥感解译工作需要。

### 2.3 遥感解译

目前,基于遥感影像的自动智能化提取技术已经取得了长足的进步,但与实际应用的要求还相差较远,尤其是面对地类复杂、形式多样的矿山,提取精度方面还有很大的进步空间。就绿色矿山的复杂程度、监测内容而言,人机交互解译是目前最适宜的选择。利用矿山地物特有的属性特征,从颜色、形状、大小、纹理、图型、结构等方面<sup>[7]</sup>,定量判定绿色矿山在基建、生产、开采过程中对土地资源的占用、损毁和修复情况,分析绿色矿山在矿区环境、资源开采、综合利用、生态修复等方面的建设情况,为绿色矿山的核查、评估、监督管理提供基础数据。解译时间可按年度、半年度划分,对于重点矿山、整改矿山可适量缩短解译周期,实现季度监测和月度监测。对于植被恢复、环境污染等特殊监管需要,可适当调整影像拍摄时间和解译周期。

## 3 遥感监测对象和内容

### 3.1 遥感监测对象

遥感检测对象见表1。按照开采矿种、开采方式,矿区整体划分为土地损毁区和生态修复区,监测

表1 遥感监测对象

区域分类	监测对象
挖损区	露天采场 排土场(包括内外土场、外排土场、表土堆、废石堆、矿渣土、煤矸石堆、废渣堆等)
土地损毁区	工业广场(包括办公区、生活区、辅助生产区、主副井场、储煤设施、洗煤厂、破碎装车场、选矿厂、机修厂、堆浸场、堆料场、炸药库、风井场、污水处理厂、晾晒池、尾泥堆、采油井、集油站等)
塌陷区	尾矿库(傍山型、山谷型、平地型尾矿库)
滑塌区	矿区道路(场外道路、场内道路)
生态修复区	地面塌陷、塌陷坑、地裂缝、地面沉陷等塌陷区
修复区	崩塌、滑坡
	挖损、压占、塌陷、滑塌等区域的修复情况,包括地貌重塑、土壤重构、植被重建情况

对象包括露天采场、排土场、工业广场、尾矿库、地面塌陷等,监测内容包括归属、类型、面积、危害对象、效果、措施等。遥感监测范围不局限在采矿权范围内,也包括其影响区域。

### 3.2 遥感监测内容

利用遥感技术从长时间序列、宏观尺度评估绿

色矿山的现状和变化情况,包括16项,其中先决条件4项,评价指标12项。

#### 3.2.1 先决条件

先决条件属于否决项,对绿色矿山的评估至关重要。利用遥感技术可评估证照合法有效、行政处罚、矿山要求、矿区范围等先决条件(表2)。

表2 遥感评估内容(先决条件)

先决条件	要求	遥感评估内容
证照合法有效	《采矿许可证》合法有效	查看矿山开采方式是否存在变更采矿方式的情况
行政处罚	近三年内,未受到自然资源部门行政处罚	套合采矿权数据,比对露天开采矿山是否存在越界开采行为;越界开采区域是否完成土地恢复;套合土地审批数据,比对用地是否超标、超限;追溯违法用地时间,以及违法用地恢复情况
矿山要求	矿山近三年内正常生产运营	多期比对矿区变化,间接判断矿山是否开采和生产
矿区范围	矿区范围未涉及生态保护红线	套合生态保护红线数据,比对矿山占用、损毁区域是否与生态红线范围重叠

#### 3.2.2 评价指标

评价指标是绿色矿山建设水平的打分项,利用遥感技术可评估矿区环境、资源开采、资源综合利

用、绿色低碳、生态修复与环境治理等12项评价指标,涉及6项约束性指标和6项提升性指标(表3)。

表3 遥感评估内容(评价指标)

评价指标	要求	遥感评估内容
矿区环境(2项)	矿容矿貌-功能分区	初步区分矿山的生产区、生活区及治理区的范围,各区域是否交织混杂;判定厂区主干道路是否硬化
	矿区绿化美化-矿区绿化	查看生活区、生产区(范围不包含露天开采区)是否存在较大面积表土裸露区域
资源开采(2项)	开采活动-1 开采方式	查明露天采坑是否分设开采台阶,是否一面墙式开采
	开采活动-2 开采技术	①露天开采:查明排土场现状,是否实现采坑内排。采场或排土场边帮是否存在地质灾害隐患; ②地下开采:查明地面塌陷现状,评估破坏影响程度
资源综合利用(2项)	①非金属、化工、黄金、冶金、有色、油气、煤炭、地热、矿泉水等行业 固废综合利用-工业固废处置与利用	查明是否利用废石、煤矸石回填塌陷区、填沟造地;查明表土堆放和使用情况;查明尾矿库位置情况
	②砂石、水泥灰岩、建筑石材等行业 固废综合利用-土质剥离物的综合利用	查明表土堆放和使用情况
绿色低碳(4项)	节约集约用地	套合历年国土变更调查成果,追溯建设用地和临时用地情况,查明土地利用和变更情况;查明是否违法占用耕地和永久基本农田
	废物排放-1 固废排放	查明尾矿库、煤矸石、堆浸场等固体废弃物堆积现状;是否存在顺坡随意倾倒现象;堆放区域是否设置围墙、防尘网等防护设施,粉尘污染影响区域情况
	废物排放-2 废水排放	查看排土场、采场等边坡是否存在大面积冲刷损毁,间接判断截(排)工程是否完善
	废物排放-3 废气排放	查明主要封闭式建筑物的位置和类型,识别在运输、选矿、加工过程中是否产生粉尘污染,影响区域
生态修复与环境治理(2项)	矿山地质环境治理恢复与土地复垦-矿 山地质环境保护与土地复垦方案编制与执行	对比年度治理计划和方案中治理区域范围,查明治理情况是否符合要求,评估矿区是否存在应治未治区域
	治理要求-治理效果	查明矿区土地占用、挖损、治理现状;多期比对判断治理区的植被恢复情况

### 4 遥感监测推动绿色矿山建设

在绿色矿山建设的不同阶段,行业主管部门对绿色矿山建设的关注点和需求点不同<sup>[8]</sup>,遥感监测的侧重点也不尽相同。

#### 4.1 绿色矿山建设前期

在绿色矿山建设前期,重点关注依法办矿信息获取。充分利用遥感大尺度监测的技术优势,调查绿色矿山的基础情况,圈定矿山开发占用土地资源情况,获取矿区地质环境本底数据,划分生产区、生活区、生态区的功能分区范围(图1)。此外,应重点关注各类违法行为:一是擅自改变开采方式,如井工开采矿山是否存在露天采坑(图2),露天开采矿山是否存在竖井、斜井、平硐等开采设施;二是越界开采行为,追溯越界区的形成时期及现状情况,初步判断是滑塌造成的被动越界(图3),还是主动开采造成的主动越界;三是违法用地行为,追溯历年国土变更数据,进行建设用地合法性判定,并查看是否满足国土空间规划“一张图”符合性,是否侵占了重要山体、公益林、湖泊湿地、风景名胜区、饮用水水源保护区等重要生态功能区(图4)。

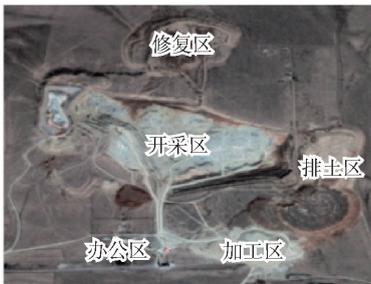


图1 功能分区

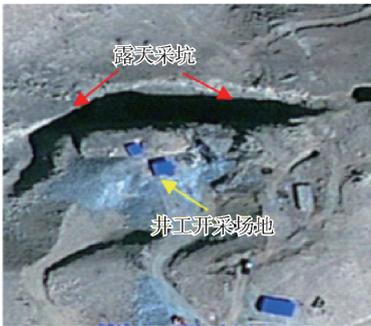


图2 改变开采方式

#### 4.2 绿色矿山建设中期

在绿色矿山建设中期,重点关注规范化开发资源。充分利用多期次遥感影像查明矿区变化,同时重点关注规范开采、地质安全隐患、环境污染等方

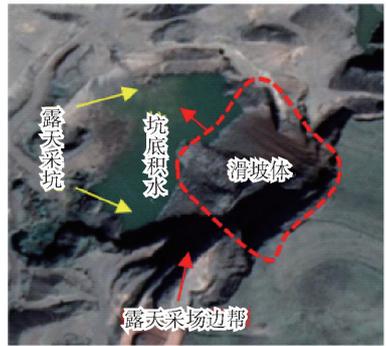


图3 被动越界



图4 侵占林地

面。例如,露天开采矿山是否存在违规开采的情况(图5),判断采坑是否自上而下分设台阶开采,是否掏采或“一面墙”开采,是否存在边开采、边内排,废石渣土顺坡随意倾倒、随意排放(图6)等行为。关注地质灾害的发生情况,包括灾害发生时间、分布情况、发育特征、变化状态和危害范围,对周边交通干线、村庄、水利工程及其各类建(构)筑物的影响信息。对于井工矿山,识别塌陷区(图7)及治理情况,对于露天矿山,识别边帮滑坡情况(图8)。查明矿山环境污染(粉尘污染、水体污染)的变化情况,包括污染源和污染范围。不同矿种关注点有所区别,如煤矿的矸石淋滤污染(图9(a))和自燃问题,铅锌等金属矿的尾矿污染和水体污染(图9(b)),石灰岩、水泥灰岩等非金属矿的粉尘污染(图9(c))等。

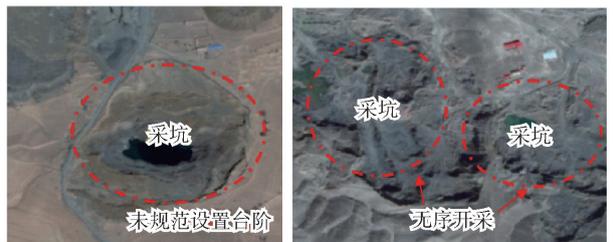


图5 违规开采



图6 随意排放

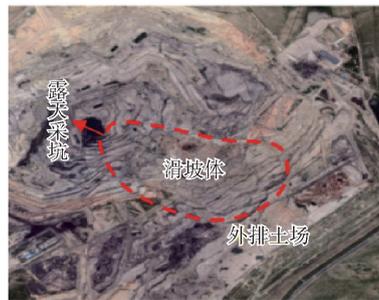


图8 排土场边帮滑坡

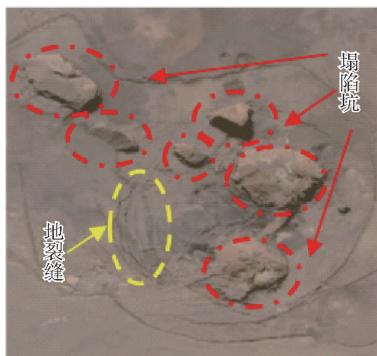
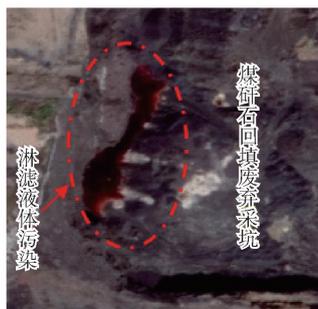


图7 塌陷区

### 4.3 绿色矿山建设后期

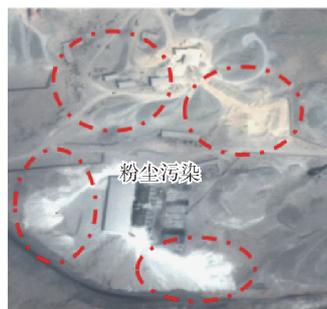
在绿色矿山建设后期,重点关注生态环境修复。利用多期遥感影像数据分析矿山生态修复成效,判定修复方式和状态,如露天采场是否完成了废石土回填(图10(a))、边坡整形(图10(b))、土地整平与覆土、植被恢复(图10(c))等;同时也要监测矿山生态修复管护情况,如排土场植被覆盖度和成活率、边坡冲沟(图11)等状况。修复区的转型利用也是绿色矿山可持续发展的重要表现,根据因地制宜的原则,转型利用方式不限于矿山公园(图12(a))、生态种养区(图12(b))、光伏用地(图12



(a) 煤矸石淋滤污染



(b) 水体污染

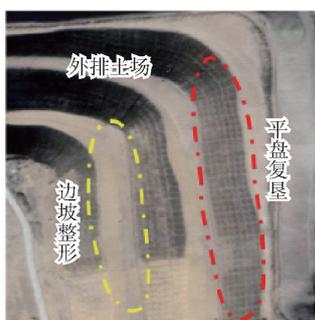


(c) 粉尘污染

图9 环境污染



(a) 废石回填



(b) 边坡整形



(c) 植被恢复

图10 生态修复

(c)、物流园区、垃圾填埋场、蓄水池等情形。利用多期遥感影像数据分析固废资源综合利用成效,包括分析表土资源的堆放、复垦情况(图13),分析废石渣土、煤矸石等一般固体废弃物是否用于采坑回

填、塌陷区治理等。

## 5 结束语

从提高绿色矿山建设水平,创新绿色矿山监管

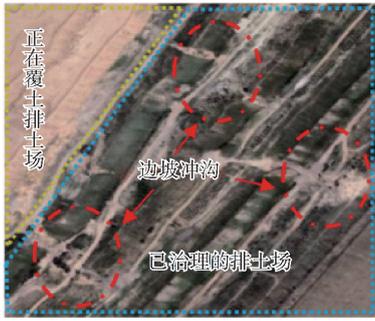


图 11 排土场边坡水土流失

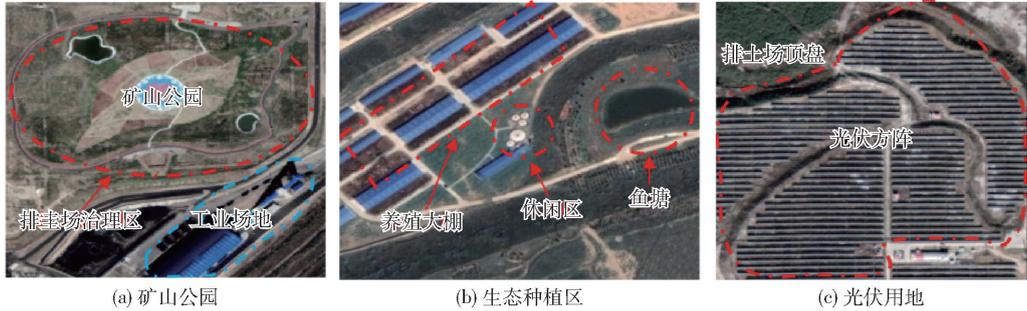


图 12 转型利用方式

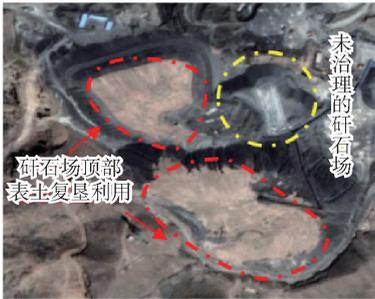


图 13 表土资源利用(土地复垦)

立足新阶段、聚焦新办法,随着我国绿色矿山建设从示范引领转向全面推进,遥感技术将在未来绿色矿山建设监管中发挥更大的作用,为绿色矿山建设提供高效、快速、准确的支撑,促进绿色矿山建设。

[参考文献]

[1] 王亮,邓久帅,李文涛,等. 浅谈绿色矿山规划任务要点[J]. 绿色矿冶,2024,40(3):20-25.

方式的主旨出发,充分发挥遥感卫星数据监测频率高、数据分辨率高的特点,根据特殊的地物特征,对处理后的遥感影像进行目视解译和判读,本文从获取矿区环境、资源开发方式、资源综合利用、节能减排等评价指标数据定量提取了先决条件、约束项、提升项三类信息,研究和分析了绿色矿山遥感监测方法和内容。根据绿色矿山建设阶段性特征,论述了绿色矿山建设各阶段遥感监测的重点,从而实现快速过滤和筛选问题矿山的目的,客观、准确服务于绿色矿山监督管理。

[2] 张永强,王亮,苏海霞,等. 绿色矿山建设的制约性问题与解决路径[J]. 绿色矿冶,2024,40(2):14-17,40.

[3] 贺昕宇,王京,王寿成,等. 我国绿色矿山建设现状,问题及对策研究[J]. 中国煤炭地质,2023,35(3):63-66.

[4] 聂洪峰,方洪宾,杨金中,等. 国土遥感综合调查工程总体目标的设计与实现[J]. 中国地质调查,2016,3(5):1-6.

[5] 姚维岭,许文佳,杨金中. 中国矿山开发环境遥感监测漫谈[J]. 华北国土资源,2018(6):106-109.

[6] 李军,彭苏萍,张成业,等. 矿区生态环境定量遥感监测评价技术框架与应用[J]. 矿业科学学报,2022,7(1):9-25,88.

[7] 周进生,牛建英,张旭,等. 矿山遥感监测评估特点与指标体系[J]. 国土资源遥感,2014,26(2):1-4.

[8] 汪云甲. 矿区生态扰动监测研究进展与展望[J]. 测绘学报,2017,46(10):1705-1716.

(下转第 87 页)

system is put into operation, the operation rate without manual intervention can reach 96.53%, the oxygen content decreased from 6.8% to 5.6%, the furnace temperature increased from 911.9 °C to 977.4 °C, and the main steam flow increased from 28.1 t/h to 32.8 t/h. Compared with manual control, the standard deviation of the operation data of the main control indexes after the system was put into use can be reduced by more than 10%, which significantly improved the operation stability of the grate furnace. The intelligent combustion control system can not only make the operation index meet the requirements of environmental protection and safe production, but also realize the stable control of the main parameters. This technical solution can provide strong technical support and guarantee for the sustainable development of the waste disposal industry.

**Key words:** waste incineration; big data; machine learning; intelligent combustion control

(上接第 76 页)

## Research and Application of Remote Sensing Monitoring Methods for Green Mines

ZHANG Yong<sup>1</sup>, WANG Kunfei<sup>2</sup>, GUO Bin<sup>1</sup>, WANG Liang<sup>2</sup>

(1. Inner Mongolia Autonomous Region Geological Survey and Research Institute, Hohhot 010000, China;

2. Zhongguancun Green Mine Industry Alliance, Beijing 100089, China)

**Abstract:** In recent years, great achievements have been made in the construction of green mines, but there are also problems such as the difficulty of multi-sectoral collaborative supervision and the high proportion of qualitative indicators. Benchmarking the new evaluation indicators of green mine construction, using high-resolution remote sensing images to carry out green mine assessment, review and supervision, is conducive to improving the level of green mine assessment and strengthening green mine supervision. Based on the new stage, new situation and new requirements of green mine, aiming at the characteristics of mine mining, ecological restoration, environmental protection and other scenes, this paper expounds and analyzes the working mechanism of remote sensing monitoring of green mine on the basis of combing the working process of remote sensing monitoring. This paper analyzed the monitoring objects and contents of remote sensing monitoring in the ecological environment, resource development mode, comprehensive utilization of resources, green low carbon and so on. According to the stage characteristics of green mine construction, this paper discusses the key points of remote sensing monitoring in the early, middle and late stages of green mine construction, so as to realize the purpose of rapid filtering and screening of problem mines.

**Key words:** green mine; remote sensing monitoring; evaluation index