

doi: 10.6046/zrzyyg.2022115

引用格式: 马世斌,皮英楠,王佳,等. 基于遥感的绿色勘查高效监管方法体系研究[J]. 自然资源遥感,2023,35(2):255-263.
(Ma S B, Pi Y N, Wang J, et al. High-efficiency supervision method for green geological exploration based on remote sensing[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023, 35(2): 255-263.)

基于遥感的绿色勘查高效监管方法体系研究

马世斌^{1,2,3}, 皮英楠^{1,2,3}, 王佳^{1,2,3}, 张焜^{1,2,3}, 李生辉^{1,2,3}, 彭玺^{1,2,3}

(1. 青海省地质调查院, 西宁 810012; 2. 青海省青藏高原北祁连地质过程与矿产资源重点实验室, 西宁 810012; 3. 青海省遥感大数据工程技术研究中心, 西宁 810012)

摘要: 资源是人类社会存在和发展的物质保障,然而作为资源发现的基础,地质勘查工作往往造成生态环境的破坏,2021年6月随着《绿色地质勘查工作规范(DZ/T 0374—2021)》的正式发布,我国绿色勘查正式上升到国家层面,并在全国全面开展,然而与之相对应的绿色勘查监管却在实际工作中面临诸多困难与挑战。该文以满足勘查责任主体对绿色勘查项目的监督检查及管理需求为目标,开展了基于遥感的绿色勘查高效监管方法体系研究和探讨,并结合青海省某多金属普查项目的应用工作,梳理和阐明了该方法的具体实现过程以及地勘项目监管服务的有效性。结果表明:基于遥感的绿色勘查监管方法应用不仅能够查明项目区外部环境基本情况,而且能够掌握项目工程实施布设及实施进展情况,检验与项目工作方案的一致性,并能通过信息量化调查工作充分掌握项目工作实施过程中对生态环境的扰动、破坏情况以及恢复治理情况,为绿色勘查实施成效评估工作提供有效的技术支撑与基础数据。

关键词: 遥感; 绿色勘查; 监管服务; 方法体系

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2023)02-0255-09

0 引言

资源是人类社会存在和发展的物质保障,任何一个国家社会经济的发展都离不开对资源的大量需求,作为资源发现的基础,国家投入大量的人力、物力从事地质勘查工作,以此来解决经济高速发展、人民生活水平提高与资源供给不足之间矛盾问题。然而在传统地质勘查工作过程中,常采用钻探、坑探、槽探等工程手段,加之对生态恢复治理重视不足,往往造成生态环境的破坏,主要表现在工程基建和施工对周边植被的破坏和损毁、土地的压占、地貌的破坏、水体污染、土壤污染以及地质灾害发生的风险等,使得地质勘查找矿工作与生态环境保护的矛盾日益突出。2015年10月,党的十八届五中全会首次把“绿色发展”作为五大发展理念之一,使其成为“十三五”时期乃至更长时期经济社会发展的重要理念,其中绿色地质勘查作为贯彻落实绿色发展理念的具体抓手,是促进地质勘查工作和生态环境保护协调发展的有效途径^[1]。在原国土资源部勘

查的积极倡导下,2016年5月《绿色勘查行动宣言》正式诞生,随之全国地勘行业开始启动了绿色勘查工作,如青海省将地质勘查与生态保护、牧民利益、藏区和谐等要素有机结合,创造出了在生态脆弱、藏族集聚区、找矿远景区开展绿色勘查的“多彩模式”^[2]。随着2018年8月我国第一个绿色勘查团体标准《绿色勘查指南(T/CMAS0001—2018)》的发布实施^[3],全国地勘行业以该指南为参考相继开展了绿色勘查项目示范工作;2021年6月,自然资源部发布了《绿色地质勘查工作规范(DZ/T 0374—2021)》,标志着我国绿色勘查正式上升到国家层面,开始在全国全面展开^[4]。

由于地勘项目在区域上分布分散、数量众多且多数位于交通极为不便的山区等现实问题,加之监管部门往往受限于人力物力、地区气候条件以及时间等问题,使得绿色勘查管理工作面临巨大压力和挑战;此外,绿色勘查工程施工是一个持续动态变化的过程,如何全面掌握各个项目工程施工的动态信息以及绿色勘查项目工作实施成效如何一直是监管部门备受关注和亟待解决的问题。

收稿日期: 2022-04-06; 修订日期: 2022-10-25

基金项目: 青海省基金项目“青海省绿色勘查动态监测与示范”(编号: 2022012006ky006)资助。

第一作者: 马世斌(1983-),男,本科,高级工程师,主要研究方向为自然资源遥感。Email: 41181908@qq.com。

通信作者: 皮英楠(1982-),女,本科,工程师,主要研究方向为自然资源遥感。Email: 28468564@qq.com。

近年来,随着我国航天技术的不断发展,涌现出许多高空间分辨率的星载遥感数据^[5-6],如国产公益卫星数据 GF-2 及 GF-7,商业卫星数据 SV-1, BJ-2 及 BJ-3 等,以其价格低廉甚至免费的数据服务模式彻底改变了我国早先依赖国外卫星数据的尴尬局面。相比于手段单一、耗时耗力的传统人工调查工作,先进的对地观测遥感技术可以在绿色勘查领域发挥巨大的作用,不仅能够快速、高效地获取勘查项目不同实施阶段的卫星遥感数据,为绿色勘查监督检查及管理工作提供可靠的基础数据,而且通过持续的遥感动态巡查工作能够查明勘查项目实施过程中对周边生态环境的破坏、扰动情况以及对生态环境的修复和改善情况,充分掌握绿色勘查工作的实施成效。目前国内外在相关领域多集中于不同传感器卫星数据和航空数据在地质找矿及地质灾害调查监测以及预测等方面应用研究,然而,就遥感技术在绿色勘查监管方面的研究鲜有报道。因此,文章基于遥感如何实现绿色勘查高效监管为目标,以快速、低廉、高效的角度为出发点,对绿色勘查遥感高效监管方法体系开展了研究和探讨,为今后绿色勘查遥感监管服务工作提供借鉴。

1 地质勘查及监管现状

1.1 我国地质勘查概况

地质勘查是地质勘查工作的简称,是根据经济建设、国防建设和科学技术发展的需要,运用测绘、地球物理勘探、地球化学探矿、钻探、槽探等地质勘查方法,对一定地区内的岩石、地层构造、矿产、地下水、地貌等地质情况进行调查研究的工作^[7]。

新中国成立初期,因工业和国防建设需求,我国开始建立了地质工作的新机构及专门的地质队伍大力开展地质勘查找矿工作,后期虽然经历了反复的萎缩和发展,但由于设备工艺、技术、管理制度以及环保意识等诸多方面的原因,地质勘查一直处于传统粗放的工作方式,对生态环境的破坏严重^[8]。2015 年根据党中央、国务院关于加快推进生态文明建设的意见,为适应新形势下的地质勘查工作,保障地质勘查行业绿色可持续发展,《国土资源“十三五”规划纲要》和《全国矿产资源规划(2016—2020 年)》提出大力推进绿色勘查,并在 2018 年 8 月发布的《绿色勘查指南(T/CMAS0001—2018)》中将绿色勘查定义为:以绿色发展理念为引领,以科学管理和先进技术为手段,通过运用先进的勘查手段、方法、设备和工艺,实施勘查全过程环境影响最小化控制,最大限度地减少对生态环境的扰动,并对受扰动

生态环境进行修复的勘查方式。相对于传统勘查工作,一方面强调在实施地球物理勘探、地球化学勘探、航空遥感调查、探矿工程施工等勘查作业时,既要考虑实现找矿突破的地质工作目的,又要考虑环境的承载能力,最大限度地减少对生态环境的破坏、扰动;另一方面,要通过勘查技术手段,优化和改善现有的生态环境,对已有的环境损害进行调查评价和工程修复,发掘生态环境的社会效益^[3]。2021 年,随着《绿色地质勘查工作规范(DZ/T 0374—2021)》^[4]的发布,越来越多的地勘单位创新勘查理念,改进勘查技术,自觉实施绿色勘查,探索出一条“既要金山银山又要绿水青山”的绿色勘查之路,不仅拓展了地质勘查的空间,还提高了地质勘查的生命力和支撑服务国民经济的能力。

1.2 地质勘查生态环境问题及特征

按照工作内容,地质勘查工作可分为基础地质(包括区域地质和科学研究)、矿产地质(包括矿产普查、矿产详查和矿产勘探)和广义环境地质(包括工程地质、农业地质、水资源勘查、环境地质、灾害地质和旅游地质)^[7]。其中:矿产地质工作主要通过采用地质测量、物化探、钻坑探工程等综合地质手段和方法来获取可靠的地质矿产资料以实现地质找矿,该工作由于涉及钻探、槽探等工程,相比而言对生态环境的扰动以及破坏是最严重的,具体表现在槽探工程施工造成地貌、植被的破坏和损毁,土石方随意堆放占用和破坏周边植被,挖掘机械施工造成植被的破坏;钻探工程施工造成周围植被的损毁、水体污染,钻机设备漏油造成土壤污染;此外,开展工程施工需要修建简易道路及搭建项目驻地等基建工作,往往造成土地的压占、植被的损毁、原生地貌景观的破坏等^[9]。

不同的工程及基建工作在高空间分辨率遥感影像上呈现明显的特征:探槽多表现为单个或多条呈直线型展布具有一定宽度的“水槽”状地物,长度不均,且内部色调较暗、外部较周边亮,一般可见土石方堆放在探槽周边,呈现中间低、两边高的特征;钻探工程钻井平台多表现为单个不规则状地物,一般形成中高周低的地貌特征,色调较深,与周边地物差异较大,且可见通往钻机平台的“断头路”;简易道路多呈现明显曲折的线性地物,一般存有断头,色调与周边地物区分明显;项目驻地多由规则的矩形状集群组成,包含一个或多个矩形状建筑物,其色调、纹理特征明显。

1.3 绿色勘查监管现状

绿色勘查管理工作作为绿色勘查项目设计及实施成效的监督检查保障措施,在绿色勘查项目工作

中具有重要作用。对于监管部门,绿色勘查管理主要分为室内质量检查和室外监管工作^[10]。其中:室内质量检查主要是对项目设计、成果进行审查及验收评价,可有效保障区域绿色勘查项目工作实施的可行性、有效性;室外监管主要是通过野外核实的方式对绿色勘查工作开展现场监督检查,摸清项目实施进展,理清不同勘查施工手段对周边环境的破坏、扰动情况以及生态环境修复情况,督促施工单位严格按照绿色勘查设计要求进行勘查施工,为后续项目成果验收评价提供有力依据。但是,目前多数监管部门由于时间、人力、物力的限制,每年只能以项目为单位采取中期检查(7—8 月)和终期验收(10—11 月)的方式开展 2 次室外监管工作;此外,近年来随着绿色勘查理念深入人心,许多地勘单位也开始对破坏生态环境的历史遗留勘查区开展了工程修复工作,监管部门亦按照生态修复项目的管理模式进行有效管理,并且室外监管工作贯穿于工程修复工作的前期、中期和终期验收评价。

综上所述,目前绿色勘查监管工作除了对现有绿色勘查项目进行监督检查管理外,还包括对历史遗留勘查区工程修复的管理工作,监管手段包含室内项目设计、成果报告质量检查和室外监管相结合的方式,且室外监管工作一般每年只开展 2 次。不难看出,室外监管工作主要还是以手段单一、耗时耗力的传统人工调查工作手段为主,且由于人力、物力等限制,监管频次明显较少。

2 绿色勘查遥感监管方法研究

2.1 基本思路

以满足监管部门对绿色勘查项目的监督检查及管理需求为最终目标,基本思路是在建立地勘项目数据库的基础上,以遥感数据为主要信息源,通过图像预处理、建立遥感解译标志等工作,开展与地质勘查相关的信息提取,并编制相关成果图件及报告,为绿色勘查监管工作提供技术支撑与数据基础。

2.2 监管方法研究

2.2.1 建立勘查项目数据库

勘查基础资料的收集与整理作为开展绿色勘查监管工作的基础,必须要保障资料收集的及时性、全面性和准确性。根据遥感监测的目的,需要收集的基础资料主要包括工作部署图(项目区范围、工程施工布设区等矢量数据)和项目设计或工作方案(文本数据)2 类。根据绿色勘查项目资金来源^[11],勘查项目一般分为公益性项目和商业性项目,且根据项目设置周期(一般 3 a 为一个周期),每年勘查

项目数量会发生变化;另外,在野外勘查施工中会存在工程施工布设点发生变化的现象,主要包括施工布设点位置变动、数量变化等,这就要求在基础资料收集时不能一劳永逸,而是应按照项目设置周期及项目工程施工实际布设情况及时收集更新相关资料信息;此外,基础资料的收集还应包含历史遗留勘查区开展的工程修复项目相关资料。

基础资料作为遥感监测目标的来源信息,需要开展分析整理、汇总工作,形成勘查项目数据库,便于信息提取工作的顺利开展。在明确各个勘查项目基础资料投影信息的基础上,整理汇总勘查项目区范围及工程布设区(点)等矢量信息,一般包括投影转换、格式转换、属性补充填制等工作,其中:属性补充填制应包含项目编码、项目名称、工作周期、承担单位、勘查手段、绿色勘查方案概况等。

2.2.2 选取有效的遥感数据

通过对绿色勘查定义的理解可以看出,要做到绿色勘查项目的有效监管,必须具备以下 3 点要求:一是必须要明确并查明勘查手段情况及生态环境扰动区,二是监管工作的及时性,三是监管工作需要覆盖勘查工作的全过程。结合遥感技术手段,对所采用的遥感数据亦有 3 点要求:首先需要利用遥感数据查明各勘查项目所使用的勘查手段及其作业情况,如对于探矿工程施工,需要在明确其探矿作业手段(如开挖探槽取样、钻机打钻取样等)的基础上,查明探槽、钻机平台等的布设位置及定量信息,对于如此小目标的调查,这就要求遥感数据的空间分辨率必须要高;其次为保证监管工作的及时性,要求遥感数据具备高时效性,即遥感数据获取时相必须与勘查工作相协同;再者为确保监管工作对勘查工作的全过程覆盖,要求遥感数据的多期次获取。

近年来随着航天、航空技术的不断发展,高空间分辨率遥感数据民用化普及率非常高,如国产公益卫星遥感数据 GF-2 及 GF-7,国产商业卫星数据 BJ-2, BJ-3 及 SV-1 等,以及国外卫星数据 GeoEye-1、WorldView 系列、Pleiades 系列等,数据类型的多样化、获取渠道面的宽广化使得数据获取困难的状况已成为过去,但就绿色勘查监管服务的成本来讲,国产公益卫星遥感数据 GF-2 及 GF-7 是最佳的选择,其可见光空间分辨率均优于 1 m,且自 2018 年随着自然资源部科技合作司同意批准建设第一批自然资源省级卫星应用技术中心以来,国产公益性卫星遥感数据统筹管理逐步下放政策为高空间分辨率遥感数据的及时、多期次获取提供了保障。更有甚者,部分省份已实现了商业卫星数据 BJ-2, BJ-3 及 SV-1 等补充数据源的统筹管理,进一步

保证了高空间分辨率遥感数据获取资源^[12]。

因此,本着绿色勘查遥感监管服务的快速、低成本、高效原则,结合遥感数据资源保障,遥感数据建议选取空间分辨率优于 1 m 且具有强现时性的多期次 GF-2、GF-7 卫星数据,商业卫星 BJ-2、BJ-3 及 SV-1 可作为补充源数据,以此来满足监管需求。需要指出的是:结合实际勘查工作每年一般选取勘查工作前期、勘查施工中期和勘查作业后期的 3 期次遥感数据即可满足监管工作的基本需求,当然在遥感数据保障的情况下增加监测频率,实现月度监测最佳。

2.2.3 高效的遥感图像处理

遥感图像预处理是开展遥感工作中必不可少的一项基础工作,文章主要探讨遥感图像处理必须进行的处理内容以及图像预处理工作的快速实现,意在实现绿色勘查的快速、高效服务,对处理方法不做深究。

根据所采用的遥感信息源及遥感工作目的不同,遥感图像预处理的内容及方法亦不同,如针对高光谱数据、雷达数据、可见光数据、无人机航拍数据等其图像预处理的方式、方法各异,并根据不同数据的应用目的,遥感图像处理的侧重点均有所差异,如利用可见光遥感数据开展大面积的水域调查和小面积的水域调查相比,除都需要进行图像正射校正外,因调查尺度不同,小面积水域调查必须要进行遥感图像融合处理才能满足要求;再如开展特定目标调查需要对遥感图像进行不同的波段组合方式和针对特定目标的图像增强处理方法。

根据绿色勘查监管的内容可知,监管部门需要明确勘查作业的布置位置及其定量化的信息,因此针对绿色勘查监管服务工作,遥感图像处理中必须要进行图像正射校正、图像融合及波段组合工作,而图像镶嵌及裁剪工作可作为备选预处理工作内容(可根据监管主体要求灵活选择)。其中:图像正射校正主要包括严格物理模型和通用经验模型 2 大类^[13],无论选用何种正射校正方法,最终目的是要确保在遥感图像上能够精确匹配勘查设计中作业布设点的位置,据相关文献资料表明^[14-15],基于有理函数模型的正射校正方法是目前公认的最佳方法之一;对于小尺度的勘查作业必须进行图像融合处理,在保证图像多光谱信息的基础上进一步提高多光谱图像的空间分辨率,以便在后期信息提取中能够及时发现目标信息,据相关文献资料表明^[16-20],在众多融合方法(如 HIS, Brovey, PCA, PanSharp 变换法等)中, PanSharp 变换法在空间细节的增强和光谱信息保持方面均优于其他方法;在波段组合的

选择方面,鉴于绿色勘查监管应用主体、应用目的及其快捷性考虑,建议采用在视觉适应上比较能接受的真彩色合成图像。

随着遥感技术手段的不断提高,遥感专业图像处理软件的开发已逐步实现了智能化和流程化,如 ENVI 软件在流程化处理方便做的更为突出,其流程化工具采用向导式操作方式一步步引导操作,操作简单,效率更高。通过基于专业图像处理软件下的图像正射校正、图像融合等工作的流程化向导部署与处理,可进一步提升图像处理速度,在绿色勘查监管服务中节省大量时间。

2.2.4 监测内容及方法

在地球物理勘探、地球化学勘探、航空遥感调查、探矿工程施工等勘查作业中,前三者对生态环境的扰动很小,可以忽略不计,而探矿工程如槽探、钻探等的实施其实是对生态环境破坏、扰动最大的,并且在勘查作业中修建的简易道路及勘查项目驻地等基建对生态环境的扰动亦较大。因此,可以看出遥感监测目标主要为探矿工程实施中的槽探、钻探、勘查作业中修建的简易道路和项目驻地等基建及其环境恢复治理状况(图 1)。在实际工作中应根据绿色勘查项目及历史遗留修复工程项目的分布情况,重点监测槽探工程、钻探工程、工程施工道路、项目驻地的位置、数量、面积、占地类型等信息以及对环境破坏区域的修复情况,查明修复治理前土地类型、修复后的土地类型、修复面积、修复方式等。目前,基于遥感影像的智能化提取已取得了不少研究成果,但与实际应用的要求还差得较远,在提取的自动化程度、提取算法的速度、适用性、准确性等方面还有许多工作有待研究解决^[21-22],如基于人工智能的深度学习方法在大量地物样本的支撑下通过基于卷积神经网络模型对样本的训练可以实现目标地物的自动化提取,虽然该方法已在全国自然资源变化图斑提取中得到了广泛应用,但其图斑准确识别的前提是有空间分辨率为 2 m 的卫星影像海量样本库的支撑,而目前由于缺乏海量的高空间分辨率地物训练样本库,在高分辨率遥感影像上采用深度学习方法会造成非目标噪声的严重影响,自动化提取效果始终不尽人意。就目前技术手段现状来看,针对绿色勘查监管服务所涉及的监测内容信息识别,建议在明确勘查手段的基础上,以勘查项目区为单位,采用人机交互解译的方法开展目标地物信息提取工作,虽然该方法在一定程度上会消耗人力、物力及时间,但目标地物信息提取的精度势必高于其他方法,可满足绿色勘查高效监管的服务要求。当然,基于高空间分辨率下目标自动化识别技术研究是后续亟需

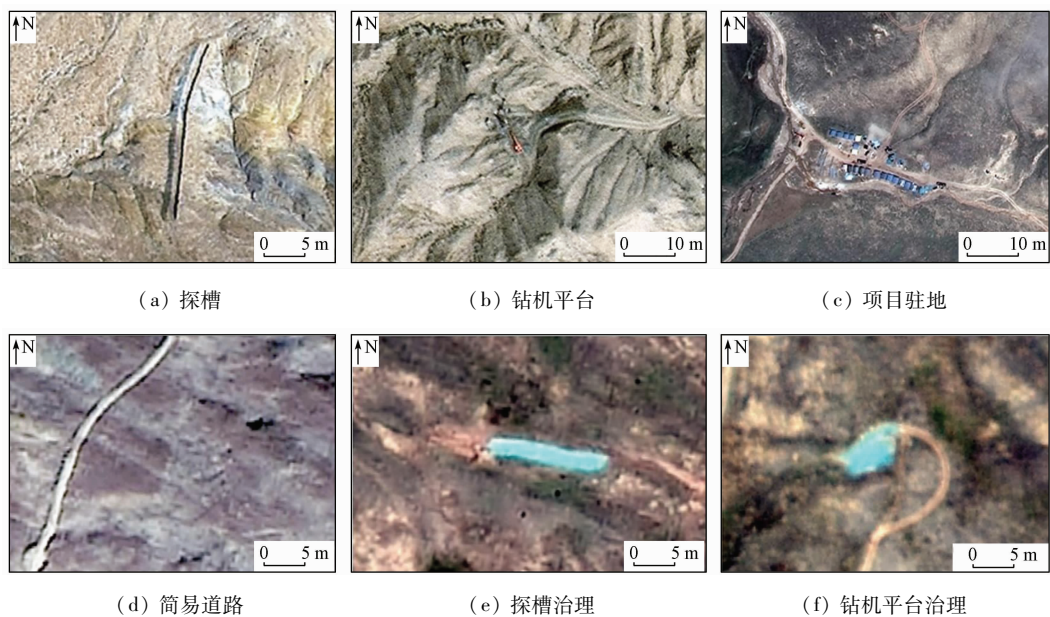


图 1 GF-2 卫星数据下各目标特征图

Fig.1 Target characteristic map under GF-2 satellite data

开展的工作,针对深度学习方法在后续研究中需要解决海量高空间分辨率地物训练样本的构建和基于目标区域的信息识别 2 大技术难点,相信随着基于高空间分辨率下目标自动化识别技术的实现,将在基于遥感的绿色勘查监管服务中发挥重要作用,真正地能够实现快速、高效的监管服务。

2.2.5 满足需求的成果表达

成果作为项目或课题实施中最终的结果或结论,如何有效地进行成果表达或展示关系到整个项目实施的成效问题,这往往取决于成果使用者对成果本身的应用价值和效果。就绿色勘查监管工作来讲,遥感监测成果既要服务于野外监管工作又要为绿色勘查项目成果验收评价工作提供依据。因此,遥感监测成果根据不同的应用目的可分为阶段成果和最终成果。

阶段成果主要应用于监管部门的野外监管工作,根据野外检查时间段安排,需要以勘查项目区为单位,提供相应时间段遥感监测成果简报以及图件;成果简报主要反映勘查区遥感监测时间段内勘查作业实施现状及变化情况,需要明确探矿工程中探槽、钻机平台、修建道路、项目驻地以及环境修复的现状及其变化情况;图件主要反映勘查项目区内最新的监测现状,需要标明探矿工程、简易道路、驻地以及环境修复区的位置信息,便于监管部门从宏观上掌握区内绿色勘查施工进度,通过简报和图件成果为野外监管工作提供可靠的数据支撑。

最终成果主要服务于绿色勘查项目成果的验收评价,建议以编制成果报告和勘查区图集的形式作为绿色勘查项目成果验收评价的依据。其中:成果

报告作为 1 a 间绿色勘查遥感监测总体成效的文字报告,需要在明确选用遥感信息源的基础上将每个勘查区内多期次遥感调查成果梳理清楚,并通过综合研究分析出每个项目区绿色勘查实施成效;勘查区图集作为能够直观反映勘查区内探矿工程实施情况以及后续工作修复情况的图版,需要以勘查区为单位,在整理分析每个目标地物多期次遥感监测成果的基础上,分门别类地进行图版的编制工作,为绿色勘查项目成效评价工作提供直观可信的基础资料。

当然,上述成果表达或展示均是基于大众化的,相对而言是比较传统的,随着当前信息化技术的发展,绿色勘查遥感监测成果展示将会发生质的变化,基于大数据的展示平台和野外智能终端的研发将在绿色勘查监管服务中发挥重要的作用^[23-24],野外监管工作不需要简报或图件,取而代之的将是智能终端应用程序信息集成反馈,项目区绿色勘查成效评价的依据将不再是遥感监测报告和图集,取而代之的将是监管大数据展示平台。

3 绿色勘查遥感监管服务应用

根据上述绿色勘查遥感高效监管方法的研究,以青海省某多金属普查项目为示范区开展了基于遥感的绿色勘查高效监管服务应用工作。该项目属 2021 年新开矿产普查项目,位于昆仑山系东延支脉,区内山系总体呈 NW 走向,南陡北缓,属高山中切割区,海拔在 4 100~4 500 m,相对高差 100~400 m,地形多为高山缓坡;气候属高寒干旱的大陆性气

候,具有寒冷、干旱、多风、昼夜温差大、冰冻期长、降雨量少的特点;该区东北部地形起伏不大,主要为植被稀疏的高山草甸覆盖,中部多为灌木林区域,西南河道及两侧为大面积风尘沙覆盖区,最南部山脊处有部分基岩裸露区。

具体实现过程为:首先通过项目承担单位收集了项目 2021 年工作方案、实际材料图、综合地质图、自然生态环境景观分区图等基础资料,通过资料分析项目工作周期为 2021 年 5 月—2023 年 5 月,项目计划野外出队时间为 2021 年 5 月,收队时间为 10 月,野外主要工作量为设计布设槽探工程施工 1 000 m³,钻探工程 500 m,1:5 000 地化(土壤)剖面 5 km,化学样 200 件,岩石样 200 件等,因交通条件较差,需要修建简易公路和搭建项目营地。由此可知,项目实施过程中对周边生态环境扰动或破坏最大的因子为槽探、钻探工程以及修建简易公路和搭建项目营地,容易造成周边灌木林和高山草甸损毁、自然景观破坏、土地压占等生态环境问题。因此,通过对槽探、钻探设计、项目工作范围等矢量信息的投影转换、整理合并、属性填制等形成遥感监测基础资料;此外,根据项目实施阶段划分,依托自然资源青海卫星应用技术中心分别获取了 2021 年 5 月、2021 年 8 月及 2021 年 10 月 3 期空间分辨率优于 1 m 的 GF-2 及 GF-7 卫星遥感原始数据,并通过 ENVI 图像处理软件进行了图像正射校正、3 期影像配准、波段组合、图像融合等预处理工作,形成工作区 3 期遥感影像图;然后开展了项目工作

区内槽探、钻探工程施工以及简易道路和项目营地的遥感信息提取工作,并根据勘查责任主体具体的野外动态监管时间段安排,分别编制了 5 月、8 月和 10 月 3 个时间段的简报和图件;最后根据遥感监测结果,编制了最终成果报告以及图集作为项目成果验收评价的主要依据。

根据遥感影像资料显示,在项目实施前期(5 月份),项目工作区内未发现项目实施迹象,亦未发现以往地勘项目施工迹象,这与项目前期外部环境查验结果一致;在项目实施中期(8 月份)共发现区内地勘工程施工 12 处,包括槽探工程 10 处,破坏损毁土地面积约 986.32 m²,地类以草地(高山草甸)和裸地为主,钻探工程 2 处,钻机平台占地面积约 32 m²,压占地类以草地(高山草甸)为主,遥感调查结果显示与项目工作方案中工程布设情况一致,表明项目工作实施进展较好;此外,发现修建简易道路 4 条,长度约 3.34 km,主要占用损毁地类为草地(高山草甸)和裸地,项目驻地 1 处,位于项目区西南侧,面积约 62.60 m²;通过项目实施后期(10 月)遥感监测显示:项目区内的 10 处探槽均已进行了回填、覆膜治理,1 处钻机平台已经进行了场地平整及覆膜治理,1 处尚未进行治理,简易道路中有 3 处已经进行了平整、覆膜等治理,与周边自然景观相协调,项目驻地尚未进行相应的治理(图 2)。通过野外实地核查发现(图 3)10 处探槽中不仅已经进行了相应的回填、覆膜治理,而且在覆膜区内进行了播撒草籽施肥处理;项目驻地和 1 处钻机平台及通往



(a) 勘查前期(2021 年 5 月 15 日) (b) 勘查中期(2021 年 8 月 17 日) (c) 勘查后期(2021 年 10 月 22 日)

图 2 生态环境扰动遥感监测图

Fig. 2 Remote sensing monitoring map of ecological environment disturbance



(a) 未治理的钻机平台 (b) 探槽治理 (c) 道路治理

图 3 野外核查实地照片

Fig. 3 Field inspection photos

该平台的道路尚未进行治理,其原因为项目后期继续开展工作的需要。野外实地核查结果说明遥感监测的工程施工数量以及定性结果的正确率高达 100%,但在面积统计上存在一定误差。

通过上述基于遥感的绿色勘查监管方法在本项目中的应用,可以看出:利用 3 期高空间分辨率遥感数据的绿色勘查监测工作,不仅能够查明工作区内的外部环境基本情况,而且能够掌握项目工程实施布设及实施进展情况,检验与项目工作方案的一致性,并能通过信息定量化调查工作充分掌握项目工作实施过程中对生态环境的扰动、破坏情况,为绿色勘查实施成效评估工作提供有效的数据支撑,相对于靠大量人力、物力投入的人工调查,该方法所体现出的低成本、快速、高效的监管服务能力具有非常高的优势。

4 结论

本着快速、低成本、高效的监管服务理念,基于遥感如何能够实现绿色勘查监管服务为目标,开展了基于遥感的绿色勘查高效监管方法体系研究和探讨,并通过青海省某多金属普查项目的应用工作,梳理和阐明了该方法的具体实现过程以及地勘项目监管服务的有效性。

研究表明:通过地勘项目基础资料的收集与整理,在建立地质勘查项目数据库的基础上有针对性地设定监管区域,进而根据勘查项目的整个工作流程以及地勘工作对生态环境的影响因素,获取空间分辨率优于 1 m 且现时性要求极高的多期次遥感卫星数据,通过遥感图像预处理工作对各个阶段的项目区生态环境扰动或破坏因子,包括槽探工程施工开挖的探槽、钻探工程施工搭建的钻机平台、施工道路、项目驻地等进行信息提取工作,查明其位置、面积、数量、损毁地类等生态环境破坏状况以及后期对其进行生态环境恢复治理情况,并根据监管主体需求及时上报提交遥感监测专题简报、图集以及报告等,为绿色勘查项目的监督检查以及成效评估工作提供可靠的技术支撑;此外,应用示范工作表明:通过该方法不仅能够查明项目区外部环境基本情况,而且能够掌握项目工程实施布设及实施进展情况,检验与项目工作方案的一致性,并能通过信息定量化调查工作充分掌握项目工作实施过程中对生态环境的扰动、破坏情况以及恢复治理情况,为绿色勘查实施成效评估工作提供有效的数据支撑。

虽然该方法在地勘项目监督检查以及绿色勘查成效评估服务中具明显的有效性,但是与人工调查

相比还是存在一定问题,如在面积定量化信息调查中因受遥感数据精度、地形因素等影响势必会存在一定误差;在环境恢复治理中像撒播草种等措施单纯依靠遥感亦是无法调查的;此外,目前该方法依然是以遥感数据获取、处理、遥感监测及成果展示等独立的操作流程实现的,与真正做到快速监管服务仍存在一定差距。

随着计算机技术、网络技术和通信技术的发展以及基于高空间分辨率下目标地物自动化识别技术的攻克,相信地质勘查监管服务取而代之的将是基于地理信息系统、遥感等专业技术与云计算、大数据、物联网等信息技术深度融合的绿色勘查监管服务平台和野外智能终端的综合管理,集各类数据综合管理、数据处理、智能信息提取、快速统计分析、综合评价、二三维可视化等功能于一体,将真正实现基于遥感大数据的绿色勘查监管快速、高效的服务。

参考文献 (References):

[1] 张 勇. 十八届五中全会首次提出五大发展理念[N/OL]. 新华网,2016 - 06 - 20. http://www. qunzh. com/pub/jsqzw/xxzt/jd95zn/jdll/sgqm/201606/t20160620_21716. html.
Zhang Y. The Fifth Plenary Session of the 18th CPC Central Committee put forward five development concepts for the first time[N/OL]. Xinhuanet,2016 - 06 - 20. http://www. qunzh. com/pub/jsqzw/xxzt/jd95zn/jdll/sgqm/201606/t20160620_21716. html.
[2] 王琼杰. 绿色勘查的美丽序曲[N/OL]. 中国矿业报,2016 - 09 - 20. https://www. cgs. gov. cn/gzdt/dzhy/201609/t20160920_402570. html
Wang Q J. Beautiful prelude to green exploration[N/OL]. China Mining News,2016 - 09 - 20. https://www. cgs. gov. cn/gzdt/dzhy/201609/t20160920_402570. html
[3] 中国矿业联合会. T/CMAS 0001—2018 绿色勘查指南[S]. 2018. China Mining Industry Association. T/CMAS 0001—2018 green exploration guide[S]. 2018.
[4] 自然资源部关于发布《绿色地质勘查工作规范》行业标准的公告[EB/OL]. 中国政府网,2021 - 06 - 18[2021 - 06 - 22]. http://www. gov. cn/zhengce/zhengceku/2021 - 06/22/content_5620007. htm.
Announcement of the Ministry of natural resources on Issuing the industrial standard of the code for green geological exploration[EB/OL]. China Government Network,2021 - 06 - 18[2021 - 06 - 22]. http://www. gov. cn/zhengce/zhengceku/2021 - 06/22/content_5620007. htm.
[5] 戴阳利,龚 燃. 国外商业航天发展情况分析[J]. 卫星应用,2020(10):22 - 26.
Dai Y L, Gong R. Analysis of the development of foreign commercial aerospace[J]. Satellite Application,2020(10):22 - 26.
[6] 毛凌野. 国内主要商业航天企业发展现状[J]. 卫星应用,2017(10):28 - 32.
Mao L Y. Development status of major domestic commercial aerospace companies[J]. Satellite Application,2017(10):28 - 32.

- [7] 技术研发知识服务融合发展[N/OL]. 中地数媒, 2020-01-19. <https://zhidao.baidu.com/question/559271323356147972.html>. Integrated development of technology R & D knowledge service[N/OL]. Zhongdimedium, 2020-01-19. <https://zhidao.baidu.com/question/559271323356147972.html>.
- [8] 武海炜. 地质勘查经历的六大阶段[N/OL]. 中国矿业报, 2018-02-01. https://www.sohu.com/a/220186793_99986028. Wu H H. Six stages of geological exploration[N/OL]. China Mining News, 2018-02-01. https://www.sohu.com/a/220186793_99986028.
- [9] 赵 闯. 地质矿产勘查与生态环境保护协调发展研究[J]. 中国设备工程, 2021(11): 246-247. Zhao C. Study on coordinated development of geological and mineral exploration and ecological environment protection[J]. China Equipment Engineering, 2021(11): 246-247.
- [10] 贺战朋, 赵祺彬, 李杏茹, 等. 基于绿色发展理念推进地质勘查标准化工作的思考与建议[J]. 中国矿业, 2021, 30(11): 13-17. He Z P, Zhao Q B, Li X R, et al. Thoughts and suggestions on promoting the standardization of geological exploration based on the concept of green development[J]. China Mining, 2021, 30(11): 13-17.
- [11] 郑 杰, 张福良, 靳 松, 等. 绿色勘查项目示范进展与成效研究[J]. 中国矿业, 2021, 30(11): 37-41. Zhen J, Zhang F L, Jin S, et al. Demonstration progress and effectiveness of green exploration project[J]. China Mining, 2021, 30(11): 37-41.
- [12] 庞 博. 自然资源省级卫星中心建设实现全覆盖[N/OL]. 自然资源部网站, 2020-09-11. http://www.gov.cn/xinwen/2020-09/11/content_5542544.htm. Pang B. The construction of provincial satellite centers for natural resources has achieved full coverage[N/OL]. Website of the Ministry of Natural Resources, 2020-09-11. http://www.gov.cn/xinwen/2020-09/11/content_5542544.htm.
- [13] 王懿哲, 刘 国, 郭 莉, 等. 基于高分一号 WFV 数据的正射校正与真彩色合成技术——以中巴经济走廊为例[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(2): 213-218. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2020. 02. 27. Wang Y Z, Liu G, Guo L, et al. Research on ortho-rectification and true color synthesis technique of GF-1 WFV data in China-Pakistan Economic Corridor[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2020, 32(2): 213-218. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2020. 02. 27.
- [14] 马世斌, 杨文芳, 张 焜. SPOT6 卫星图像处理关键技术研究[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(3): 30-35. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2015. 03. 06. Ma S B, Yang W F, Zhang K. Study of key technology of SPOT6 satellite image processing[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2015, 27(3): 30-35. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2015. 03. 06.
- [15] 石迎春, 叶 浩, 郭 娇, 等. 几何纠正模式对 QuickBird 全色影像定位精度的影响——以黄土高原为例[J]. 国土资源遥感, 2011, 23(3): 135-139. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2011. 03. 24. Shi Y C, Ye H, Guo J, et al. The effect of geometric rectification modes on positioning accuracy for QuickBird panchromatic image: A case study of loess plateau[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2011, 23(3): 135-139. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2011. 03. 24.
- [16] 孙 攀, 董玉森, 陈伟涛, 等. 高分二号卫星影像融合及质量评价[J]. 国土资源遥感, 2016, 28(4): 108-113. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2016. 04. 17. Sun P, Dong Y S, Chen W T, et al. Research on fusion of GF-2 imagery and quality evaluation[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2016, 28(4): 108-113. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2016. 04. 17.
- [17] 胥 兵, 方 臣. ZY-1 02C 星图像与 ETM+ 图像融合方法及效果评价[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(3): 80-85. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2014. 03. 13. Xu B, Fang C. Data fusion methods of ZY-1 02C and ETM+ images and effect evaluation[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2014, 26(3): 80-85. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2014. 03. 13.
- [18] 王华斌, 李国元, 张本奎, 等. 资源三号卫星影像融合算法对比分析[J]. 测绘科学, 2015, 40(1): 47-51. Wang H B, Li G Y, Zhang B K, et al. Contrast and analysis of different fusion algorithms for ZY-3 satellite images[J]. Science of Surveying and Mapping, 2015, 40(1): 47-51.
- [19] 郭 蕾, 杨冀红, 史良树, 等. SPOT6 遥感图像融合方法比较研究[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(4): 71-77. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2014. 04. 12. Guo L, Yang J H, Shi L S, et al. Comparative study of image fusion algorithms for SPOT6[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2014, 26(4): 71-77. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2014. 04. 12.
- [20] 初 禹, 单久库, 侯建国. GeoEye-1 遥感影像融合效果的比较分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2011, 34(3): 21-26. Chu Y, Shan J K, Hou J G. Comparison and analysis of the fusion results of GeoEye-1 remote sensing imagery[J]. Geomatics and Spatial Information Technology, 2011, 34(3): 21-26.
- [21] 刘大伟, 韩 玲, 韩晓勇. 基于深度学习的高分辨率遥感影像分类研究[J]. 光学学报, 2016(4): 306-314. Liu D W, Han L, Han X Y. Research on high resolution remote sensing image classification based on deep learning[J]. Journal of Optics, 2016(4): 306-314.
- [22] 冯丽英. 基于深度学习技术的高分辨率遥感影像建设用地信息提取研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017. Feng L Y. Research on construction land information extraction from high-resolution remote sensing images based on deep learning technology[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017.
- [23] 王小娜, 田金炎, 李小娟, 等. Google Earth Engine 云平台对遥感发展的改变[J]. 遥感学报, 2022, 26(2): 299-309. Wang X N, Tian J Y, Li X J, et al. Benefits of Google Earth Engine in remote sensing[J]. National Remote Sensing Bulletin, 2022, 26(2): 299-309.
- [24] 付东杰, 肖 寒, 苏奋振, 等. 遥感云计算平台发展及地球科学应用[J]. 遥感学报, 2021, 25(1): 220-230. Fu D J, Xiao H, Su F Z, et al. Remote sensing cloud computing platform development and earth science application[J]. National Remote Sensing Bulletin, 2021, 25(1): 220-230.

High – efficiency supervision method for green geological exploration based on remote sensing

MA Shibin^{1,2,3}, PI Yingnan^{1,2,3}, WANG Jia^{1,2,3}, ZHANG Kun^{1,2,3}, LI Shenghui^{1,2,3}, PENG Xi^{1,2,3}

(1. *Institute of Geological Survey of Qinghai Province, Xining 810012, China*; 2. *Qinghai – Tibet Plateau During the North Qilian Geology and Mineral Resources Laboratory of Qinghai Province, Xining 810012, China*; 3. *Qinghai Remote Sensing Big Data Engineering Technology Research Center, Xining 810012, China*)

Abstract: Resources serve as the material guarantee of the existence and development of human society. However, as a basis for resource discovery, geological exploration tends to damage the ecological environment. With the official release of the Specification for Green Geological Survey and Mineral Exploration (DZ/T 0374—2021) in June 2021, green geological exploration has been officially promoted to the national level and was implemented nationwide in China. However, the supervision of green geological exploration faces many difficulties and challenges in practice. To meet the demands of responsible entities for the supervision, inspection, and management of green geological exploration projects, this study proposed a high – efficiency supervision method based on remote sensing. By applying this method to a polymetallic survey project in Qinghai Province, this study expounded the specific implementation process of the method, as well as its effectiveness in the supervision services for geological exploration projects. As indicated by the results, the method proposed in this study allows for ascertaining the basic external environment of the project area, following the project layout and implementation, and verifying the consistency with the project plan. In addition, through quantitative information investigation, this method allows for the full identification of the disturbance and damage to the ecological environment and its restoration during the project implementation. Therefore, this study can provide effective technical support and basic data for evaluating the performance of green geological exploration.

Keywords: remote sensing; green geological exploration; supervision service; methodological system
(责任编辑: 李 瑜)