

引用: 刘军平, 周红英, 李元隆, 等. 卫星遥感技术在矿权管理中的应用[J]. 中国石油勘探, 2023, 28(6): 105-113.

Liu Junping, Zhou Hongying, Li Yuanlong, et al. Application of satellite remote sensing technology in mining rights management[J]. China Petroleum Exploration, 2023, 28(6): 105-113.

卫星遥感技术在矿权管理中的应用

刘军平¹ 周红英² 李元隆³ 吴培红² 王桂宏² 邢学文² 马志国²

(1 中国石油油气和新能源分公司; 2 中国石油勘探开发研究院; 3 中国石油国际事业有限公司)

摘要: 近年来, 随着卫星对地观测技术的快速发展, 卫星遥感技术已成为自然资源监测和管理的重要手段, 在油气资源管理中发挥的作用也在不断加强。针对中国石油矿权管理业务特点, 卫星对地观测与地理信息系统空间分析相结合开展勘探地表条件精细识别和风险定量评估, 多星协同观测与时序变化检测相结合开展勘探开发历史追踪和动态监测, 矿权管理多场景应用实践表明, 卫星遥感技术可有效应用于矿权进退决策支持、矿权探采合规监测和勘探地表信息管理与可视化, 充分保障矿权地表评价精度, 大幅降低油田地面调查工作成本, 科学提升矿权合规巡检工作效率。在此基础上, 提出应建立全域化多级联动的监测网络来推动卫星遥感技术在支撑油气矿权监测管理中的应用发展。

关键词: 油气矿权; 卫星遥感技术; 地表信息; 进退决策; 合规探采

中图分类号: TE19

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1672-7703.2023.06.012

Application of satellite remote sensing technology in mining rights management

Liu Junping¹, Zhou Hongying², Li Yuanlong³, Wu Peihong², Wang Guihong², Xing Xuewen², Ma Zhiguo²

(1 PetroChina Oil, Gas & New Energies Company; 2 PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development; 3 PetroChina International Co., Ltd.)

Abstract: Along with rapid development of Satellite Earth Observation technology in recent years, remote sensing technology has become an important means of natural resources monitoring and management, and is playing an increasingly important role in oil and gas resources management. In view of the characteristics mining rights management business of CNPC, Satellite Earth Observation technology and GIS spatial analysis are combined to carry out fine identification of surface conditions and quantitative risk assessment in the exploration area, and multi-satellite collaborative observation and time-series change detection are combined to conduct tracking and dynamic monitoring of exploration and development history. The practice of mining rights management in multi-scenario application shows that satellite remote sensing technology enables to provide effective decision-making support for the farm in/out of mining rights, monitoring of compliant exploration and development, and surface information management and visualization in mining rights area, which fully ensure the accuracy of surface evaluation in mining rights area, significantly reduce the field survey cost of oilfield companies, and scientifically improve the efficiency of compliance inspections in mining rights area. Furthermore, it is proposed to establish a comprehensive multi-level coordinated monitoring network to promote the application and development of remote sensing technology in supporting oil and gas mining rights monitoring and management.

Key words: oil and gas mining rights, remote sensing technology, surface information, decision-making for farm in/out, compliant exploration and development

基金项目: 中国石油油气和新能源分公司重点科技项目“矿权区块精细评价和价值评估技术研究”(2022KT0407)。

第一作者简介: 刘军平(1971-), 男, 湖北洪湖人, 硕士, 2008年毕业于西安石油大学, 高级工程师, 现主要从事油气勘探和矿权储量方面的研究工作。地址: 北京市东城区东直门北大街9号中石油大厦, 邮政编码: 100007。E-mail: junping_liu@petrochina.com.cn

收稿日期: 2023-10-13; 修改日期: 2023-11-01

0 引言

矿权是资源型企业勘探开发的核心基础,也是油公司依法进行油气资源勘探和开发的先决条件。近年来,国家油气管理体制改革加快推进,出台了一系列政策法规。其中探矿权到期的硬退减,新设矿权的竞争性出让,矿产资源勘探开发的用地用海制约等新形势,使油气矿权管理面临新挑战和新机遇^[1-4]。矿权管理已不是仅关注地下油气资源,同时也需要统筹考量地表勘探开发条件和环境保护,这对矿权管理综合性和精细化提出了更高的要求。

中国石油油气探矿权分布较为广泛,有的在沟壑纵横的黄土高原,有的在人烟罕至的沙漠腹地,有的在险峻陡峭的山地丘陵,有的在苍茫无垠的大海深处,甚至有的被围入其他地方企业的工作区内,矿权的内部监管一直面临着难以全面掌握、无法重点跟踪的难题。同时,各种类型无法勘探区和难作业区地表覆盖复杂多样对矿权规划部署和勘探开发影响大。卫星遥感技术作为对地观测的重要技术手段,对地表信息探测和监测具有得天独厚的优势,因此,利用卫星遥感技术手段开展矿权地表信息监测和管理,为矿权业务工作提供信息化支持,能有效提升矿权管理工作效率,助力油气资源的现代化管理。本文重点介绍中国石油矿权管理中应用卫星遥感技术所取得的成果。

1 卫星遥感技术与油气遥感应用

我国遥感卫星产业自20世纪70年代至今经过了半个世纪的技术沉淀,近年来随着我国航天航空工业的快速发展,已逐步形成以“风云”系列为主体的气象遥感卫星、“海洋”系列的海洋遥感卫星、“高分”系列的高分辨率对地观测遥感卫星。卫星遥感技术覆盖可见光、红外、多光谱、雷达等多种关键技术,已应用于矿产资源、农业林业、城市交通等国民经济众多领域^[5-6]。

目前,卫星遥感技术已经全方位应用于我国自然资源管理业务,并且发挥了巨大作用。卫星遥感技术作为对地观测的重要技术手段,与传统的地面调查技术相比,具有宏观成像、细节突出,重复观测、快速响应,以及全球范围、不受限制等多方面优势。

(1) 宏观成像,细节突出。卫星遥感大范围宏观成像,可展示油田探矿权、采矿权空间分布的基础地理地貌信息;亚米级高分辨率影像细节刻画,清晰展

示矿权范围内井场站库等油气勘探开发活动。

(2) 重复观测,快速响应。国产陆地观测高分辨率卫星组网,具备24小时之内全球重访一次的观测能力,可监测勘探开发活动进程;国产陆地观测高分辨率卫星,在当天卫星数据下传后,2小时内可获取遥感影像,可用于突发事件、热点事件的追踪。

(3) 全球范围,不受限制。卫星全球范围成像,不受地域限制,对于交通落后、人迹罕至的地区观测优势更为显著。

油气资源领域常用的遥感数据包括光学遥感数据、雷达遥感数据和数字高程数据。其中光学遥感数据以中、高分辨率的美国航空航天局的Landsat系列卫星、欧洲航天局Sentinel系列卫星、国产GF系列卫星、国产ZY系列卫星为主。遥感对地观测技术被广泛应用于油气地质研究、石油工程选线选址、油气田环境监测等多个油气勘探开发领域。

2 矿权管理遥感技术研究与应用思路

矿权管理遥感技术应用是以规划国家资源管理、维护企业矿权合法利益为目标,通过遥感技术研发与应用,探测矿权地表信息,监测矿权油气勘探生产活动,支持矿权评价决策和动态管理,助力矿权数字化转型与智能化发展。

2.1 技术研究重点

结合卫星遥感技术特点,针对矿权管理需求形成矿权管理遥感技术3个方面研究重点。

(1) 中、高分辨率结合:中分辨率影像覆盖全局,高分辨率影像聚焦重点,点面结合开展勘查矿权区内无法勘探区定量精细识别。

(2) 遥感与地球信息系统(GIS)结合:基于遥感信息提取结果,结合多维地表信息进行GIS空间分析与遥感综合制图,实现矿权评价决策支持。

(3) 多源多时相监测:针对特定目标,采用多星协同观测和多时相影像时序变化检测,实现矿权动态监测支持。

2.2 技术应用方向

矿权管理遥感技术包括3个技术应用方向:矿权进退决策遥感支持、矿权探采合规遥感监测和勘探地表信息管理与可视化。

2.2.1 矿权进退决策遥感支持

矿权进退决策遥感支持是通过卫星对地观测与

GIS 空间分析相结合开展勘探地表条件精细识别和风险定量评估。基于多源高精度遥感影像,开展勘查矿权范围内地表信息精细识别和地形风险定量评估,辅助 GIS 技术综合分析评价勘探地表条件,用于支持矿权退减和矿权竞争性出让。其技术核心是地表信息遥感精细识别和复杂地形风险遥感定量评估。典型技术应用包括矿权无法勘探区遥感识别、复杂地形难作业区遥感评估、出让区块地表条件遥感调查。

2.2.2 矿权探采合规遥感监测

矿权探采合规遥感监测是通过多星协同观测与时序变化检测相结合开展勘探开发历史追踪和动态监测。利用多时相高分辨率遥感影像,开展矿权范围内油气勘探开发活动遥感监测,及时发现外部侵权和违规探采行为,实现油气井勘探开发全过程历史追踪和动态监测,为维护企业合法权益提供科学依据和有效手段。其技术核心是油气井场遥感智能识别和勘探生产动态遥感监测。典型技术应用包括卫片执法监督遥感快速核实、越界侵权探采遥感追踪监测、退出矿权生态恢复遥感动态监测。

2.2.3 勘探地表信息管理与可视化

勘探地表信息管理与可视化是以地理信息系统平台为基础,建立全盆地各油田油气矿权地表信息空间数据库,实现多源多类型数据存储管理、分析制图和共享发布,支持油气矿权地表信息的有序管理、动态更新和应用推广。其技术核心是基于 GIS 的多源数据管理制图和基于 Cesium 三维显示渲染。典型技术应用包括“三区三线”遥感空间分析制图、油气矿权管理遥感支持系统。

3 中国石油矿权管理遥感特色技术应用

针对矿权评价决策与动态管理业务需求,充分发挥遥感技术特色优势,全面监控矿权地表分布与变化,持续跟踪重点矿权区的油气探采动态,不断推进勘探地表信息“一张图”数据库建设,研发形成矿权管理遥感核心技术,在矿权进退决策支持、矿权探采合规监测和勘探地表信息管理与可视化 3 个方面开展了多项特色技术应用。

3.1 矿权无法勘探区遥感识别技术

《自然资源部关于深化矿产资源管理改革若干事项的意见》(自然资规〔2023〕6号)规定油气勘查矿权 5 年到期必须按证载面积核减 20%,对于石油企业,矿权是发展的根基,面对严峻退减形势,如何保有利退有

序成为矿权管理的首要问题。油公司的探矿权面临着退减的巨大压力,为了加大可工作区勘探力度,精准识别城市建设区、河湖水域区、生态保护区等无法勘探区,将其作为退减的优先项。由于城市化进程的加快,无法勘探区范围也时时变化,需要定期更新无法勘探区数据,在矿权区块退减前期,开展无法勘探区精细调查。

中国石油在 2020—2022 年新政实施后首轮矿权退减工作中,将遥感技术引入退减区块的地表精细评价,运用中、高分辨率遥感影像相结合,研发城市建设区和河湖水域区遥感识别技术、识别标准与工作流程,实现无法勘探区边界的精确提取。同时根据勘探作业进入的可能性精细化分级,将城市建设区划分为 I 级和 II 级,形成中国石油矿权内属地化的多特征无法勘探区基础数据库,支撑矿权退减工作精细开展。

首轮矿权退减工作期间,依次开展了四川盆地、渤海湾盆地和松辽盆地无法勘探区遥感分析(图 1),统计分析 3 个盆地退减区块地表无法勘探区分布规模及面积占比,结合地质评价结果,综合决策区块退减范围。重点针对四川盆地天府新区开展遥感地表评价,精细识别成都市、新津县和天府新区城市建设区范围,结合实地踏勘进行退减方案优化(图 2),优化区域主要位于龙泉驿区西南区域、天府新区核心区域、新津花源东北区域。原方案退减面积为 1662km²,优化后退减面积为 1593km²,其中龙泉驿区以西为田园观光景区少退减 38km²,新津花源和黄龙溪区域为暂未开发区域少退减 41km²,天府新区核心区域为已规划暂未建设区域少退减 16km²,彭山机场区域多退减 26km²。遥感精细地表评价结果为矿权退减方案优化提供可靠信息支撑,该项技术的应用大大提高了地面勘查工作效率和准确性,节省了现场踏勘的人力时间成本。

3.2 复杂地形难作业区遥感评估技术

复杂地形难作业区是指由于山区地势陡峭,地震工程和钻井工程部署困难的区域。这些区域可能地质评价优质,却面临着勘探工程施工风险。难作业区地形风险定量评估是以遥感 DEM 数据为基础,采用坡度风险分级法提取地震工程和钻井工程难以施工的高陡地形区,从而定量评估矿权区块内的复杂地形难作业区。

首轮矿权退减工作中,四川盆地由于地质评价 I 类区、II 类区分布较广,面临着优化退减方案的迫切形势,但同时盆缘山地地形陡峭、人迹罕至,施工条

件恶劣，又面临着难以勘探的现实情况。因此，针对四川盆地盆缘山地重点开展复杂地形难作业区遥感评估，基于地形风险分析结果，结合地质评价及交通等因素，综合确定退减区域范围。

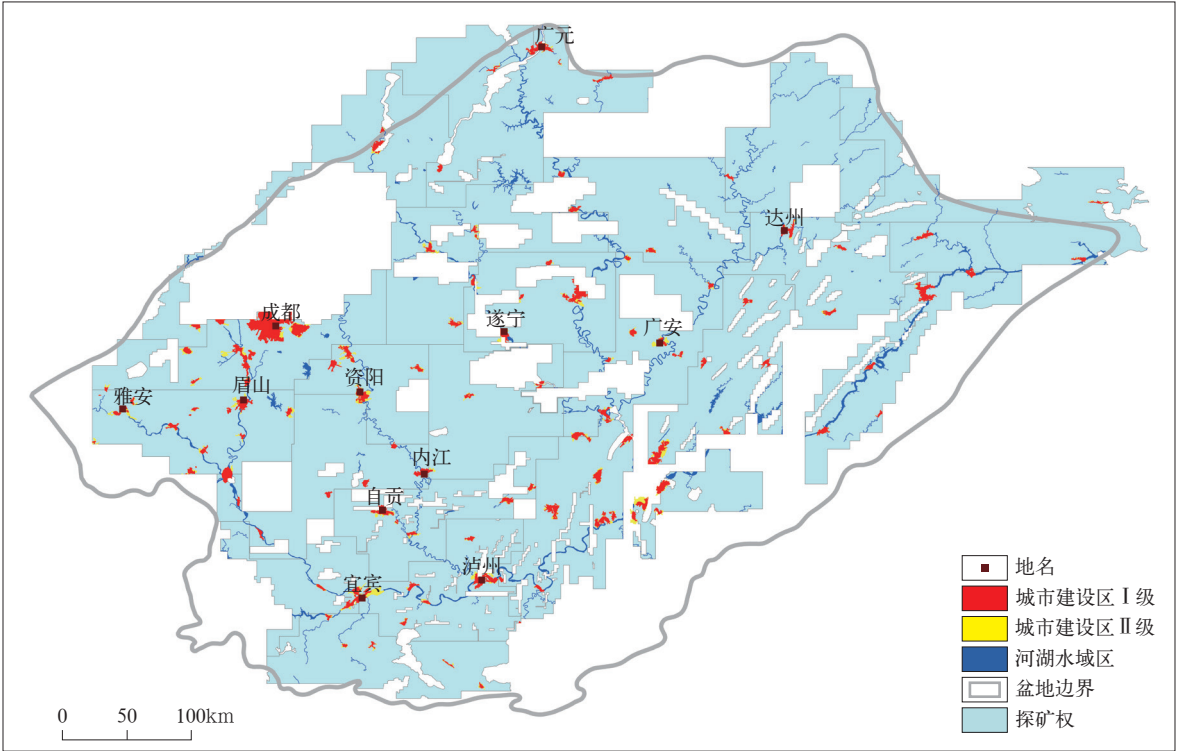


图 1 四川盆地无法勘探区遥感分布图
Fig.1 Remote sensing map of unexplorable areas in Sichuan Basin

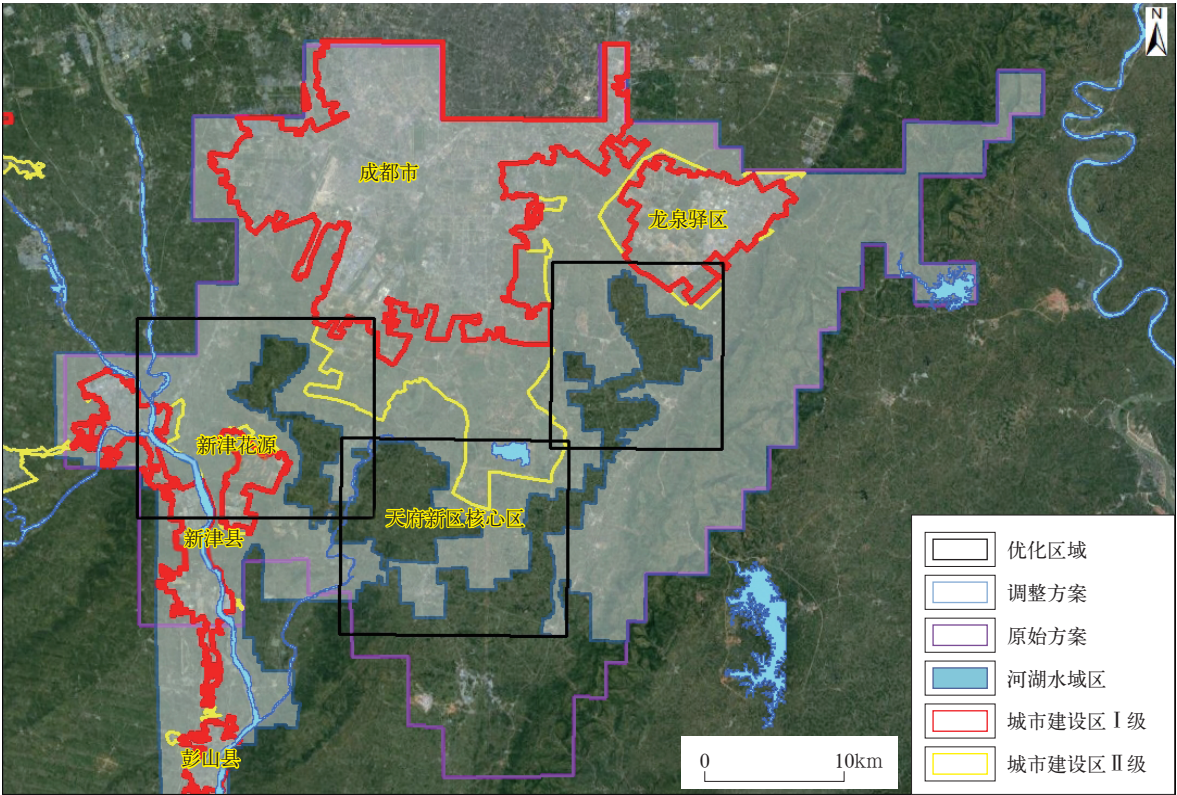


图 2 无法勘探区精细识别比对与退减方案优化图
Fig.2 Fine identification and comparison of unexplorable areas and optimization of mining rights reduction plan

四川盆地川西北的北川—江油、梓潼—旺苍、绵竹、龙泉驿—邛崃、雅安—青神勘查矿权区块，采用坡度风险分级法提取地形高风险区（图3）。同时，在复杂地形难作业区范围内，对于勘探增储上产的重点区双鱼石，进一步综合考虑地形、交通、水源地、保护区等因素影响，开展油气井场多方向卷积地形分析，评价复杂山地条件下勘探井场部署和施工难度。此项应用在矿权退减地表条件调查方面为四川盆地川西北矿区提供了有力支撑，节省了油田工作成本，可指导开展现场踏勘，与油田资料相结合，可实现快速准确的地表条件的前期调查。

3.3 出让区块地表条件遥感调查技术

2020年以来，中国石油参与竞争矿权区块47个，竞得新疆和青海矿权区块共5个，从省自然资源厅发布挂牌公告到正式竞拍的准备时间为一个月左右，在较短的时间内，需要高效准确完成新区块地下地质评价和地表可用性评价，从而对遥感地表评价工作提出了更高时效性和准确性的要求。

围绕竞争矿权快速评价机制，建立矿权地表条件遥感快速调查技术流程，通过光学遥感和数字高程模型，综合基础地理信息和环境敏感区数据，快速获取新矿权区块的土地覆盖、地形地貌、河湖水系、交通路网、油气场站、环境敏感区分布情况，并基于地形风险分析评估油气工程施工作业难度。

2022年青海省政府发布挂牌出让公告，通过遥感快速评价，确定7个出让区块的地表无法勘探区和复杂地形难作业区，为后续3个矿权区竞得方案的制定提供了及时可靠的信息参考（图4）。

3.4 卫片执法监督遥感快速核实技术

近年来自然资源部持续推进卫星观测体系建设，在自然资源的生态监测、国土空间规划监测、自然资源开发利用监测和矿山环境修复治理监测等领域开展了深入应用。自然资源督察手段，除了传统实地核查外，还增加了卫星遥感勘察、无人机航拍、大数据筛查等。卫片执法技术已经成为矿山督察的重要手段之一^[7-10]。

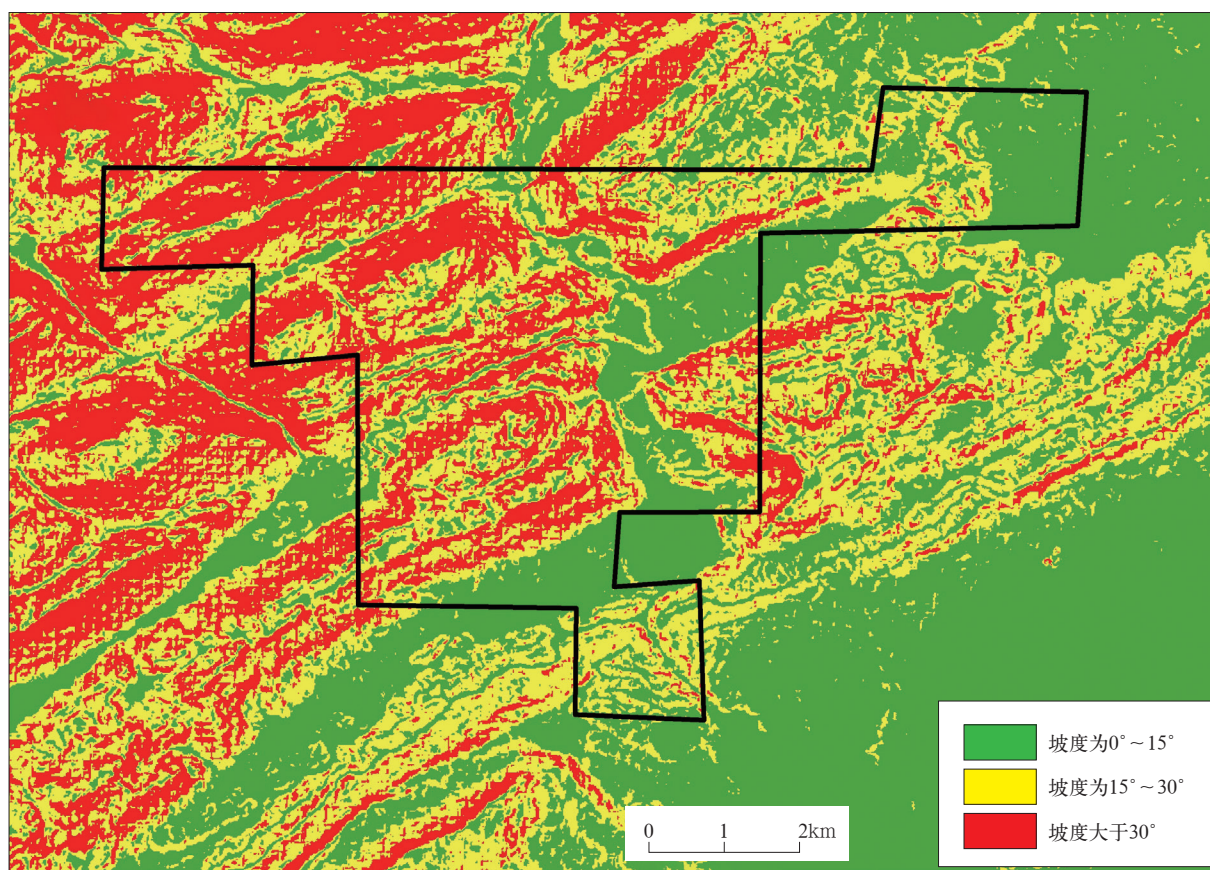


图3 川西北复杂地形难作业区风险遥感评估图

Fig.3 Remote sensing map for risk assessment in difficult operation areas with complex surface conditions in northwestern Sichuan Basin

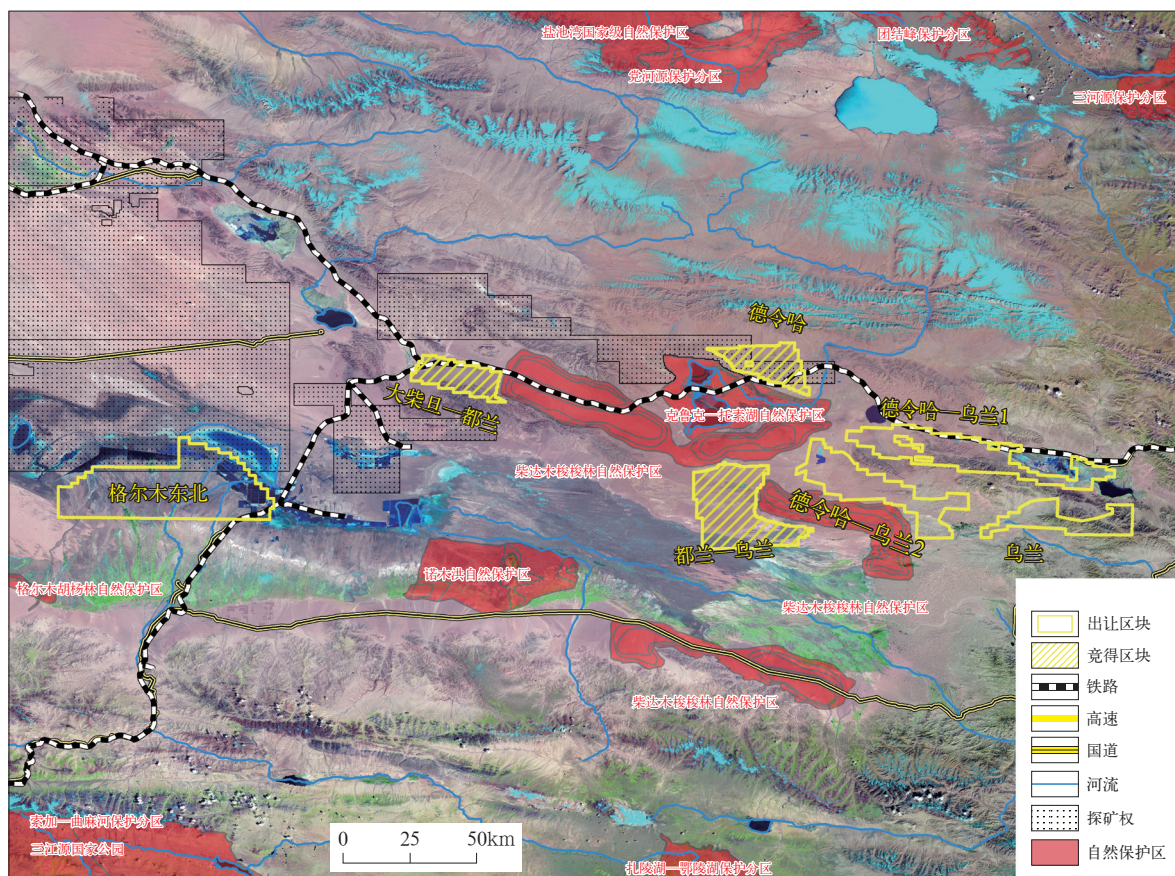


图4 2022年青海7个出让区块地表条件遥感快速调查成果图

Fig.4 Remote sensing rapid survey results map of surface conditions in seven transfer blocks in Qinghai Province in 2022

2019年6月,自然资源部下发协助核实油气开采疑似违法卫片图斑,借助亚米级高分辨率遥感监测技术快速响应,通过多时相影像时序分析,实现克拉玛依市和乌鲁木齐市米东区275个油气矿山疑似违法开采点遥感核实,核实结果中1/0表示疑似图斑通过遥感核实不存在井场、磕头机,1/1表示疑似图斑通过遥感核实确实存在井场、磕头机(图5),最后根据遥感核实结果进行综合分析并提出针对性建议。

此项技术的应用为矿权内部监管开创了新思路,储备了新手段,依靠油田信息上报来掌握矿权动态的盲人式监管已成为过去,卫星遥感以第三方视角对所有盆地矿权进行全面监测,为矿权管理提供了更加全面客观和准确动态的信息。

3.5 越界侵权探采遥感追踪监测技术

中国石油油气探矿权分布较广,在勘探热点区和矿权边界区域存在外部企业越界侵权油气勘探开发活动,严重损害中国石油矿权权益。针对采矿区中的侵权增量重点区和探矿权中的侵权敏感区,开展高分辨

率遥感检测与核实,对已查实的侵权活动开展多时相遥感动态跟踪监测,宏观掌握侵权井场的数量、分布状况和存续时间,为公司维权提供可靠依据。

2019年,通过高分辨率卫星遥感影像观测,发现新疆塔里木盆地喀什和阿图什北矿权区内存在油气井场。影像显示6个油气井场处于不同的勘探开发阶段,通过进一步沟通核实,确定影像检测到的油气勘探开发是对中国石油所辖矿权范围的侵权行为(图6)。卫星遥感的动态巡护监测与历史影像追踪技术,可及时发现越界侵权勘查开采,守护企业油气资源免受侵占。

3.6 退出矿权生态恢复遥感动态监测技术

油气勘探开发环境保护是国家生态文明建设的关注重点,国土空间生态修复规划强化油气设施退出及生态恢复,井场清退与治理恢复是矿权退出的重要步骤。

退出矿权区生态恢复遥感动态监测是利用多时相遥感影像,连续观测矿权内油气井勘探生产状况,实现油气井生命周期全过程的无接触式监测,重点跟踪

矿权退出区油气井生态修复过程，针对确定退出的场站，开展遥感跟踪监测封井、生产设施拆除和生态地

表恢复状况，为探矿权、采矿权的顺利退出和环境恢复评估留下证据（图 7）。



图 5 2019 年自然资源部下发卫片执法图斑 (a) 与遥感影像核实结果图 (b)

Fig.5 Satellite imaging patches for enforcement issued by the Ministry of Natural Resources in 2019 (a) and remote sensing image verification result map (b)

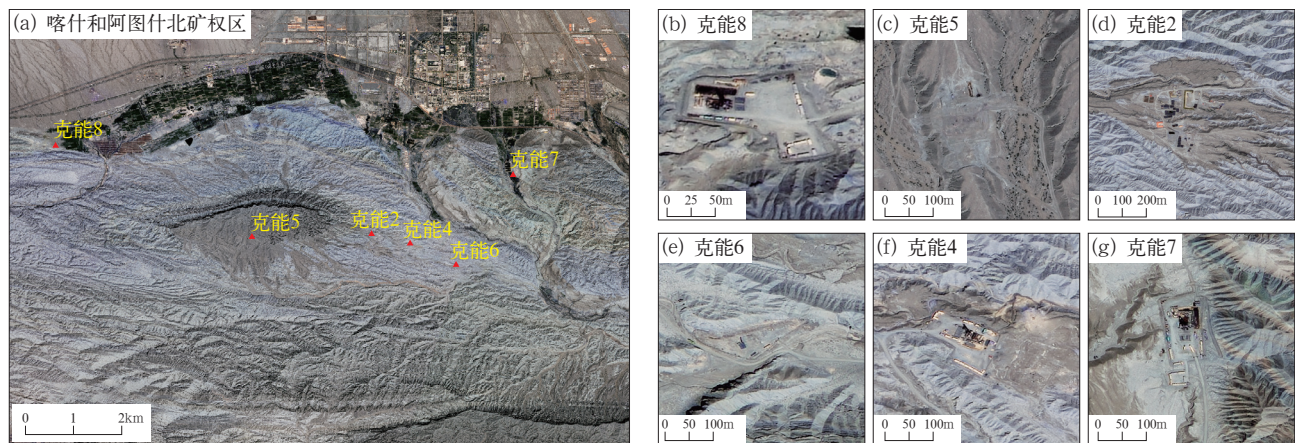


图 6 2019 年塔里木盆地侵权勘查开采遥感检测图 (2019 年 5 月 8 日 GF2 遥感影像)

Fig.6 Remote sensing detection map of unauthorized exploration and development activities in Tarim Basin (according to GF2 remote sensing image on May 8, 2019)

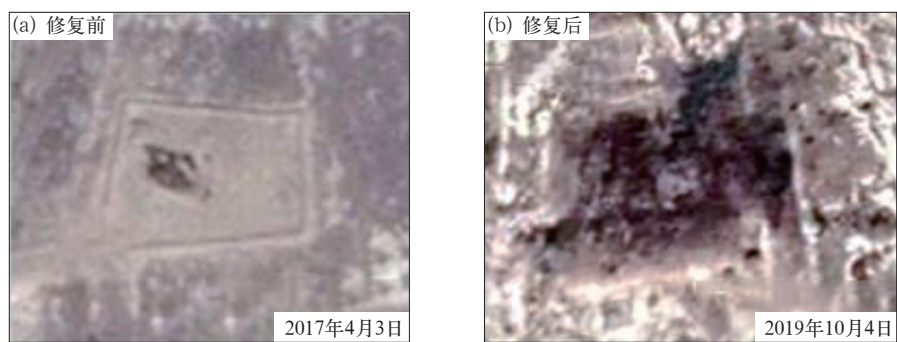


图 7 多时相卫星遥感影像动态监测井场退出生态修复对比图

Fig.7 Dynamic monitoring of ecological restoration of well site by multi-temporal satellite remote sensing images

3.7 “三区三线”遥感空间分析制图技术

国土空间规划体系规定,要求统筹划定落实生态保护红线、永久基本农田和城镇开发边界3条控制线,科学有序统筹布局生态、农业、城镇等功能空间,促进油气资源开发与生态保护和谐发展,切实兼顾生态文明建设与国家能源安全的需要。“三区三线”是构建和优化国土空间开发保护格局的重要支撑,作为建设项目用地用海报批的依据,是油气矿权进退决策地表禁限区的重要参考要素^[11-14]。

前期统计分析结果表明,中国石油矿权涉及各类保护地类别多且油气勘探开发重叠影响大,但由于“三区三线”地表信息的动态更新和不完全掌握,急需加快建设“三区三线”地表信息数据库并持续更新,综合运用遥感和GIS技术汇集“三区三线”等生态保护相关数据,跟踪生态红线和保护区划分范围,

构建矿权保护区数据基础,并进一步开展针对性的总结分析。

3.8 油气矿权管理遥感支持系统

以地理信息系统平台为基础,建立全盆地各油田油气矿权地表信息空间数据库,研发油气矿权管理遥感支持系统(图8),实现多源多类型数据存储管理、分析制图和共享发布,支持油气矿权地表信息的有序管理、动态更新和应用推广。

依托油气矿权管理遥感支持系统,中国石油矿权区内最新遥感影像数据可直观呈现和立体展示最新地表信息现状,动态更新和实时共享陆上七大盆地矿权范围内无法勘探区、难作业区、生态保护区等地表禁限区分布,综合分析禁限区与油气矿权及其他地质专题信息的叠合情况,用以支持矿权进退决策评价和矿权探采合规监测,助力矿权管理数字化转型和智能化发展^[15]。

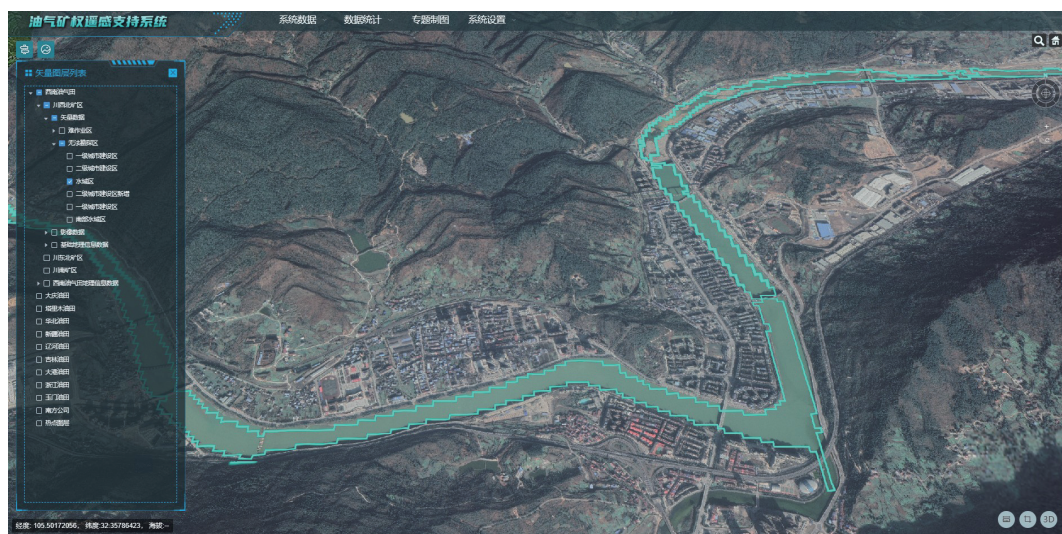


图8 油气矿权管理遥感支持系统界面

Fig.8 Interface of remote sensing support system for oil and gas mining rights management

4 矿权管理遥感技术作用

矿权无法勘探区识别、复杂地形难作业区评估、出让区块地表条件调查、卫片执法监督快速核实、越界侵权探采追踪监测、退出矿权生态恢复动态监测、“三区三线”空间分析制图和油气矿权管理支持系统等多场景应用实践表明,卫星遥感技术可有效应用于矿权进退决策支持、矿权探采合规监测和勘探地表信息管理与可视化,发挥两个方面支撑作用。

(1) 保障矿权地表评价精度,降低油田地面踏勘工作成本。

基于多源高精度遥感影像,开展勘探地表条件精细识别,可检测亚米级空间分辨率的地表目标,准确获取地面无法勘探区边界范围,分级评价勘探作业地形风险。与传统人车地面调查方式相比,节省了时间成本和人力成本,对传统方法进行了由点到面、由定性到定量的扩展。

(2) 提升矿权巡检工作效率,建立卫星全天候监管新模式。

基于多时相高分辨率遥感影像,开展勘探开发生产动态监测,可实现油气探采工程历史追溯和实况跟踪,准确获取勘探开发工程坐标范围、经历阶段和持

续时长。与传统人车地面巡检方式相比,拓展了监测范围,加密了监测频次,降低了工作成本,提升了工作效率,同时也开创了卫星全天候矿权监管的现代化新模式。

5 结论

(1) 为满足国家能源体制机制改革新形势和企业发展需求,中国石油围绕矿权进退开展精细评价,建立了地表与地质一体化评价体系,充分发挥卫星遥感国土空间规划技术优势,及时全面掌握油气矿权范围内勘探地表条件,在支持油气矿权的进退决策中发挥了重要作用。

(2) 依托国家卫星观测体系建设与应用的快速发展,卫星遥感已成为国家和地方开展油气督察的重要手段,为了满足油气探采合规监测和越界侵权追踪工作需要,充分发挥遥感对地观测技术优势,已初步形成中国石油矿权监管遥感技术方法和流程。

(3) 数字化转型与智能化发展是矿权管理的未来发展方向,遥感技术作为其重要的技术手段,需要从数据在线化、服务实时化和分析智能化3个方面深化技术研究,形成企业总部—研究中心—油田基层三级联动模式,建立全域化多级联动的监测网络,推动遥感技术在支撑油气矿权管理中的应用发展。

参考文献

- [1] 李国欣, 何海清, 梁坤, 等. 我国油气资源管理改革与中国石油创新实践[J]. 中国石油勘探, 2021, 26(2): 45–54.
Li Guoxin, He Haiqing, Liang Kun, *et al.* China's oil and gas resource management reform and innovative practice of PetroChina[J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(2): 45–54.
- [2] 倪新峰, 刘军平, 向峰云, 等. 中国石油矿权内部流转与优化配置改革创新实践与启示[J]. 中国石油勘探, 2023, 28(1): 38–46.
Ni Xinfeng, Liu Junping, Xiang Fengyun, *et al.* PetroChina reform and innovation practice of internal transfer and optimal allocation of mining rights and enlightenment[J]. China Petroleum Exploration, 2023, 28(1): 38–46.
- [3] 张抗, 苗森. 强化矿权区块管理促进油气行业改革[J]. 中外能源, 2020, 25(10): 1–8.
Zhang Kang, Miao Miao. Strengthening management of mineral rights blocks to promote reform in oil and gas industry[J]. Sino-Global Energy, 2020, 25(10): 1–8.
- [4] 唐国强, 徐东, 张宝生. 国有大型油气企业矿权流转机制及建议[J]. 天然气工业, 2019, 39(6): 147–155.
Tang Guoqiang, Xu Dong, Zhang Baosheng. Mineral right circulation mechanism and suggestions for large state-owned oil and gas enterprises[J]. Natural Gas Industry, 2019, 39(6): 147–155.
- [5] Sun J, Xiang H. Research on key technology of mining remote sensing dynamic monitoring information system[J]. ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2017, XLII-2/W7.
- [6] Tan K, Qiao J. Development history and prospect of remote sensing technology in coal geology of China[J]. International Journal of Coal Science & Technology, 2020, 7(2): 1–9.
- [7] Song W, Song W, Gu H, *et al.* Progress in the remote sensing monitoring of the ecological environment in mining areas[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(6): 1846.
- [8] Padró J, Carabassa V, Balagué J, *et al.* Monitoring opencast mine restorations using Unmanned Aerial System (UAS) imagery[J]. Science of the Total Environment, 2018, 657(C): 1602–1614.
- [9] Karan K S, Samadder R S, Maiti K S. Assessment of the capability of remote sensing and GIS techniques for monitoring reclamation success in coal mine degraded lands[J]. Journal of Environmental Management, 2016, 182: 272–283.
- [10] Xia Y, Wang Y, Du Sen, *et al.* Integration of D-InSAR and GIS technology for identifying illegal underground mining in Yangquan District, Shanxi Province, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2018, 77(8): 319.
- [11] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 关于划定并严守生态保护红线的若干意见[EB/OL]. (2017-02-07)[2022-11-03]. http://www.gov.cn/zhengce/2017-02/07/content_5166291.htm.
General Office of the CPC Central Committee and the General Office of the State Council. Several opinions on delineating and strictly observing the red line for ecological protection[EB/OL]. (2017-02-07)[2022-11-03]. http://www.gov.cn/zhengce/2017-02/07/content_5166291.htm.
- [12] 师啸. 银额盆地矿权保护评价数据库落户吐哈油田[N]. 中国石油报, 2008-07-29(3).
Shi Xiao. Yin'e Basin mineral rights protection evaluation database settled in Tuha Oilfield[N]. China Petroleum Daily, 2008-07-29(3).
- [13] 张建华. 江汉油田矿权与生态保护红线对比分析[J]. 江汉石油职工大学学报, 2021, 34(1): 106–108.
Zhang Jianhua. Comparative analysis of mining rights and ecological protection red line in Jianghan Oilfield[J]. Journal of Jianghan Petroleum University of Staff and Workers, 2021, 34(1): 106–108.
- [14] 陈丽萍, 赵晓宇, 陈静, 等. 国际自然保护区内矿业权处置的十大特点[J]. 中国矿业, 2018, 27(1): 27–31.
Chen Liping, Zhao Xiaoyu, Chen Jing, *et al.* Ten characteristics of the disposal of mining rights in international nature reserves[J]. China Mining Magazine, 2018, 27(1): 27–31.
- [15] 牛贝贝. 基于集成平台技术的油气矿业权保护系统[J]. 中国管理信息化, 2021, 24(18): 103–104.
Niu Beibei. Oil and gas mining rights protection system based on integrated platform technology[J]. China Management Informationization, 2021, 24(18): 103–104.