

海洋地质绿色勘查方法优化与实践

袁星芳, 杨明爽*, 韩忠, 李方舟, 游进元

(山东省第六地质矿产勘查院, 山东 威海 264209)

摘要:实施海洋地质绿色勘查是在新时期对海洋地质勘查工作提出的新任务、新要求。我单位积极践行绿色发展理念,以省内首批实施的海洋牧场项目“山东省威海市海洋牧场示范区海底沉积物地球化学调查”为试点,首先编制了院绿色勘查管理办法及相关实施细则,然后在施工过程中合理布置施工设备,改进船只定位技术、优化钻探施工工艺、改良地质取样过程,最大程度地减少用海面积、降低环境污染、避免阀架破坏。绿色勘查成果获自然资源部第二批绿色勘查项目,总结和积累的实践经验希望为其他地勘单位提供可复制、可推广的海洋地质绿色勘查工作方法。

关键词:海洋地质;绿色勘查;船只定位;钻探施工;地质取样

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2023)03-0060-06

Optimization and practice of marine geological green exploration method

YUAN Xingfang, YANG Mingshuang*, HAN Zhong, LI Fangzhou, YOU Jinyuan

(No.6 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Weihai Shandong 264209, China)

Abstract: The implementation of green exploration is a new task and new requirement for marine geological exploration in the new period. We actively practice the concept of green development and take the marine ranch project “Marine Ranch Demonstration Area of Weihai City in Shandong Province”, which is the first marine ranch project implemented in the Shandong province, as the pilot project. We first formulated the green exploration management measures and relevant implementation rules, and then rationally arranged construction equipment in the construction process, including improving ship positioning technology, optimizing drilling construction technology, improving geological sampling process, minimizing the use of sea area, reducing environmental pollution and avoiding valve frame damage. The achievements of green exploration have been approved as the second batch of green exploration projects by the Ministry of Natural Resources. The practical experience is expected to provide a working model of marine geological green exploration that can be replicated and popularized for other geological exploration affiliations.

Key words: marine geology; green exploration; ship positioning; drilling construction; geological sampling

0 引言

在海洋地质勘查过程中,需采用单频测深、海底钻探、地质取样等工作手段^[1-3],这些工作手段会不同程度地对海洋生态环境造成影响,如海底钻探

时产生的泥浆废液造成海域环境的污染;地质取样时产生的悬浮泥沙影响浮游植物的光合作用;海域施工作业时船只抛锚定位对海底沉积环境的破坏。近年来,随着习近平总书记生态文明建设理念

收稿日期:2022-12-16; 修回日期:2023-04-06 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.03.008

基金项目:山东省自然资源厅地勘基金项目“山东省威海市海洋牧场示范区海底沉积物地球化学调查”(编号:鲁勘字[2019]52号)、“山东省威海市刘公岛及周边海域综合地质调查”(编号:鲁勘字[2021]54号)

第一作者:袁星芳,女,汉族,1990年生,工程师,水文与水资源工程专业,从事水工环地质工作,山东省威海市高新技术开发区火炬路209号, lywhyxf@163.com。

通信作者:杨明爽,男,汉族,1974年生,正高级工程师,水文与水资源工程专业,从事海洋地质钻探及研究工作,山东省威海市高新技术开发区火炬路209号,1396590274@qq.com。

引用格式:袁星芳,杨明爽,韩忠,等.海洋地质绿色勘查方法优化与实践[J].钻探工程,2023,50(3):60-65.

YUAN Xingfang, YANG Mingshuang, HAN Zhong, et al. Optimization and practice of marine geological green exploration method [J]. Drilling Engineering, 2023,50(3):60-65.

的提出,极大程度地影响和改变了地质勘查工作的前进方向,为地质勘查工作的绿色发展指明了道路^[4-7]。然而如何把绿色发展理念贯穿于项目实施全过程,达到绿色勘查的目的,成为海洋地质勘查工作亟需解决的技术难题。我单位积极践行绿色发展理念,着力改进绿色勘查工作方法,打造了国家级绿色勘查示范项目,总结和积累了一定的实践经验^[8],希望为其他地勘单位提供可复制、可推广的海洋地质绿色勘查工作方法。

1 绿色勘查的实施现状

绿色勘查是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^[9]。

绿色勘查作为一种全新的勘查模式,是新时期背景下适应生态文明建设的必然要求。国内的绿色勘查工作于2015年逐渐开始,2016年诞生了《绿色勘查行动宣言》,2018年出台了首个标准《绿色勘查指南》,标志着我国绿色勘查工作步入了规范化和制度化的新阶段,2019年印发了《区域地质调查技术要求(1:5万)》等9项技术标准,形成了资源潜力、技术经济、生态环境“三位一体”的调查评价体系^[10-15],绿色勘查框架基本形成。目前,国内大部分地勘单位积极参与到绿色勘查活动中,初见成效。比如黑龙江省,积极研发新工艺,采用小角度钻探工艺代替槽探方法,降低了对勘查区土地的扰动和环境的破坏;贵州省,积极改进物探、钻探、槽探等施工方法,降低道路污染、减轻环境破坏,根据实践经验出台2项省级标准指导地方绿色勘查工作的具体实施;青海省,积极探索绿色勘查的“多彩模式”,推进地质勘查与生态环境的协同发展^[15-18]。另外,中国地质调查局等部门积极探索“一基多孔”、“一孔多支”、“一孔多用”等技术^[19-21],大大地降低了施工成本,减轻了环境污染和破坏。

2 实施海洋地质绿色勘查的意义

当前,随着“海洋强国”、“海洋强省”、“海洋强市”等一系列海洋发展战略的提出,海洋地质勘查工作面临前所未有的发展机遇,如何在高质量完成勘查工作的同时最大程度地降低对海域生态环境的影

响,是新时期对海洋地质勘查工作提出的新要求,也是地勘单位实行转型升级的新途径,更是地勘单位实现自我革新的好时机^[22-23]。实施海洋地质绿色勘查不仅是国家生态文明建设的战略需求^[24-25],也是推进生态环境保护的重要举措,更是实现海洋资源可持续开发的有效途径。针对海洋地质绿色勘查的研究尚处于起步阶段,主要是通过改进工作手段、优化施工工艺等方法来降低勘查工作对海域生态环境的影响。

3 海洋地质绿色勘查的具体实践

3.1 勘查项目概况

本次研究以省内首批海洋牧场项目“山东省威海市海洋牧场示范区海底沉积物地球化学调查”为试点,将绿色勘查理念贯穿于项目实施全过程。项目紧紧围绕国家、省级规划对威海市海洋牧场建设的部署要求,结合威海市海洋牧场建设实际需求,采用单频测深、海底钻探、地质取样等技术手段,系统查明海洋牧场示范区海底沉积物类型及分布情况,分析海底沉积物来源及成分特征,建立威海市海洋牧场示范区海底沉积物地球化学特征信息库,为威海市海洋牧场规划建设提供地学依据,助力威海“海上粮仓”建设。

3.2 管理制度建设

为全面实施绿色勘查,促进生态保护、资源保障、经济发展有机结合,确保绿色勘查工作有效开展,项目实施前制定《山东省第六地质矿产勘查院绿色勘查管理办法(试行)》。项目组根据海上施工作业特点,补充制定了《船舶码头环保管理制度》,该制度包括《污染物申报制度》《转移联单制度》《岗位责任制度》《巡查制度》《风险防范制度》《船舶环保管理责任追究制度》共6项具体的实施细则。另外,为保护海域生态环境和资源,防治油类污染事故对海域环境造成影响,项目组又补充制定了《防止船舶污染应急预案》。

3.3 污染因素识别

项目启动前,结合勘查区附近海域的环境特征,识别项目施工过程中可能存在的污染风险,具体如下:

3.3.1 海域水环境污染

施工期海域水环境污染因素:一是海底钻探和地质取样过程中对海底沉积物的扰动而产生的悬浮

泥沙;二是海底钻探过程中泥浆泄漏或未得到妥善处置而造成的污染;三是施工船舶工作人员产生的生活垃圾、生活污水随意排放造成的污染;四是钻探设备和施工船舶本身产生的机舱油污水泄漏造成的污染。

3.3.2 海底沉积环境影响

对海底沉积环境的影响主要包括海底钻探、地质取样等作业过程中船只抛锚定位时造成的局部破坏。

3.3.3 海洋底栖生物影响

海洋水环境污染将直接对海洋生物产生影响。悬浮泥沙会降低海水的透光率,影响浮游植物的光合作用,从而降低海水的初级生产力;另外,水体浑浊会降低水中溶解氧的含量,进而对浮游生物产生不利影响,甚至引起死亡。海底钻探、地质取样等作业过程中船只抛锚定位会对海底底栖生物产生直接影响^[26]。

3.3.4 海域用海风险

施工期海域用海风险一般来自2个方面:一是用海项目自身引起的突发或缓发事件对海域资源、环境造成的危害^[27];二是由于海洋灾害导致用海项目发生意外事故,对海域资源、环境造成的危害。

3.4 施工工艺优化

为全面贯彻落实生态文明建设要求,树立“创新、协调、绿色、开放、共享”发展理念^[27],我单位在项目实施过程中严格按照《绿色勘查指南》及相关技术要求开展各项工作。

3.4.1 单频测深

单频测深主要是为了了解海域水深变化情况和海底地形地貌特征。为达到绿色勘查的目的,单频测深的作业船只选用当地渔船,一是该船体积小,操纵方便,适应海况,利于在养殖区密集的海域作业;二是该船噪音小,可以减少对海洋生物的惊扰;三是该船尾气排放量小,对大气污染较轻。数据采集设备使用的是无锡海鹰加科海洋技术有限责任公司生产的HY-1600测深仪^[28-29]。定位仪和HY-1600测深仪采用固定安装的方式,定位仪天线安装在驾驶台顶端,四周无障碍,确保信号的稳定接收;HY-1600测深仪换能器固定在船底,并安装相应的配套保护装置,一方面可以最大限度的减小用海面积,另一方面可以减少测深仪换能器对周边养殖区阀架的刮蹭。定位仪、HY-1600测深仪安装位置如图1

所示。

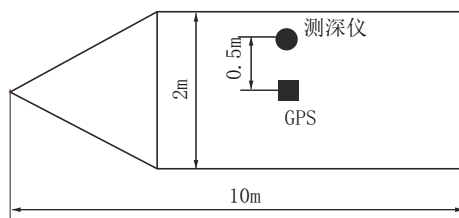


图1 单频测深设备布置平台

Fig.1 Layout platform of single frequency sounding equipment

3.4.2 海底钻探

海底钻探主要是为了了解沉积物类型、厚度、分布、地层以及沉积环境等。为达到绿色勘查的目的,本次海底钻探作业对船只定位技术、钻探取心工艺、钻探施工方法等进行了改良,减轻了对海域生态环境、海底沉积环境、海底底栖生物等的影响。

3.4.2.1 船只定位技术改进

本次海底钻探施工船采用吸沙船改造成的钻探平台。传统施工船通常采用抛锚定位,一般抛锚四个才能达到稳定船只的目的,抛锚过程中不可避免会对海底沉积物造成一定影响,并且无形中增大了用海面积。为最大限度减少对海域生态环境的影响,本次施工船定位由原来的“抛锚定位”改为“吸砂管下管定位”。吸砂船带有吸砂管,船行驶到施工位置后将吸砂管插入海底,起到固定船只的作用,避免了抛锚固定船只时,船锚对海底沉积环境的破坏,而且使用该方法船只更加稳定。

3.4.2.2 钻探取心工艺改进

本次取心作业采用岩心管+PVC衬管的双层管取心方式(见图2)。岩心管外径为108 mm,长4 m,内置PVC取心管,外径90 mm。取心过程中岩心管和PVC衬管同步跟进,提钻时岩心随着PVC衬管一同被取出。该方法一方面提高了取心率,另一方面最大限度的减少了钻探施工过程中悬浮泥沙的产生,减少污染。

3.4.2.3 钻探施工方法改进

本次钻探施工作业采用“套管封闭回流”装置,泥浆不排海。每节套管长度4~5 m,外径130 mm。首先将套管垂直下放,在海底涌流作用下保证垂直钻进,将套管内外的海水分隔。蓄水池内的泥浆与钻机抽水管连接,钻具下放到海底之后,抽水泵将泥



图2 Ø102 mm 岩心管+Ø90 mm PVC 衬管

Fig.2 Ø102 mm core barrel and Ø90 mm PVC liner tube

浆送入套管内,将套管内的海水沿排水管顶入蓄水池内,套管与蓄水池形成一个封闭的内循环环境,实现套管封闭回流(见图3)。

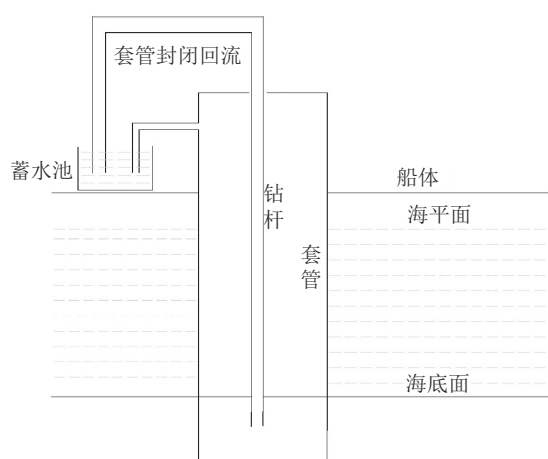


图3 套管封闭回流装置示意

Fig.3 Casing closed reflux device

钻探施工过程中,使用泥浆处理机,对回收自钻孔返上的废泥浆进行处理,使泥水彼此分离,分离出的污泥经过固化干燥后统一集中回收,交由岸上有资质单位集中处理。

3.4.3 海底表层样采集

海底表层样采集一般采用缆抓斗、拖网及箱式取样等方法,主要是为了了解海底沉积物的类型、来源、物质成分等。本次采集选用的是箱式取样器(见图4),取样时,取样器保持匀速缓慢下放,当取样器到达海底时,靠重锤的重力使采样筒插入海底沉积物中,闭合铲转动切取海底沉积物进入采样筒内,然后缓慢提出,减轻了对周边海洋生物的惊扰。取样

过程中保持船只稳定,避免取样器触底后被船只拖动对海底沉积物及底栖生物造成二次影响。

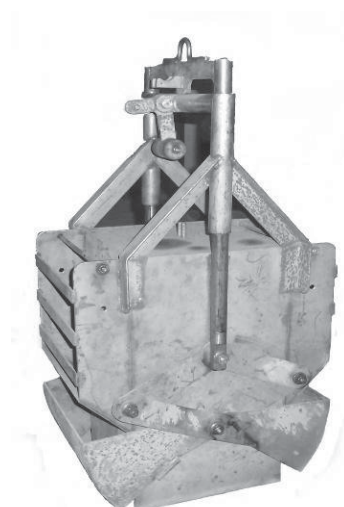


图4 箱式取样器

Fig.4 Box-type sampler

根据工作经验,选用采样筒断面规格为20 cm×30 cm,可以在保证沉积物扰动较小或者基本不扰动的前提下,最大限度减小取样断面面积,减少对海底沉积物的破坏范围。

取样结束后,对取样器进行清洗、装配和安全检查待用。样品采用密封袋封装,并加以标识,各类取样器材均无毒无害,不会对环境产生污染。

3.4.4 海底柱状样采集

海底柱状样一般采用重力、振动活塞或钻探取样等方法,主要是为了了解海底沉积物的类型、物质成分、分布规律等。本次采用振动活塞的方法,选用振动取样器进行取样(见图5),它主要是利用共振原理来破坏沉积物的粘结力使得沉积物产生“液化”现象,进而降低钻具的侧面摩擦阻力。由于不同海域流速、流向和风向不同,可能会造成取样管弯曲。因此,在实际采样过程中,当船舶有规律地左右摇摆时,开动绞车缓慢下放取样器到海底以上5 m左右,当船位摆到中心点时减缓下放速度,使底盘轻轻地坐稳于海底,取样结束后待船摆到下放位置时,将取样器缓慢提升,待取样器提出海底后,快速提升,出水后再慢慢收回至甲板上。实践证明,当船摆幅度较大时,采用上述方法可避免80%以上取样管弯曲事件发生。另外,取样器触底时减缓下放速度可减轻取样器对海底沉积物及底栖生物造成二次影响。

柱状样采用PVC管,各类取样器材均无毒无害,不会对环境产生污染。

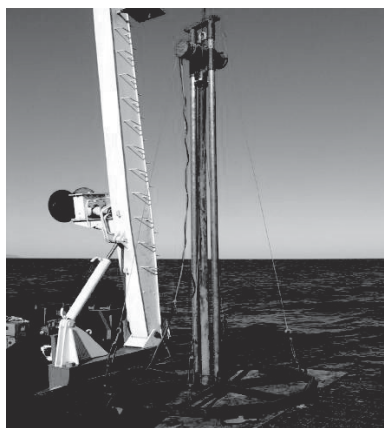


图5 振动取样器

Fig.5 Vibration sampler

3.5 绿色勘查成效

2021年1月,“山东省威海市海洋牧场示范区海底沉积物地球化学调查”项目成功获批自然资源部第二批绿色勘查项目,是省内海洋地质勘查工作中首次获批的绿色勘查示范项目,对推动全省海洋地质绿色勘查工作具有积极意义。

4 结论

我单位积极践行绿色发展理念,打造了国家级绿色勘查示范项目,总结和积累了一定的实践经验,希望为其他地勘单位提供可复制、可推广的工作方法。

(1)出台相关制度。项目启动前,制定了单位绿色勘查管理办法及相关实施细则,为项目的实施提供了工作依据,保障了项目的顺利开展。

(2)合理选用设备。在满足技术要求的前提下,单频测深选用当地渔船,海域钻探选用钻探平台,并且仪器设备尽量固定在船底,减少用海面积,避免对养殖区闸架、浮球等设施的破坏。

(3)优化施工工艺。一是由原来的“抛锚定位”改为“吸砂管下管定位”,该方法与传统“抛锚定位”方法相比,对海底沉积物的破坏面积减少了75%,而且用该方法固定的船只更加稳定;二是采用“岩心管+PVC衬管”的方式进行取心,提高岩心采取率;三是采用“套管封闭回流装置”,实现钻探施工污染物的“零排放”。

参考文献(References):

- [1] 吴振,宋委.东营市近海海域地质环境质量评价[J].山东国土资源,2020,36(1):57-65.
WU Zhen, SONG Wei. Geological environment quality evaluation of Dongying offshore sea area[J]. Shandong Land Resources, 2020, 36(1):57-65.
- [2] 顾效源,于剑锋,韩明智,等.单道地震技术在海洋地质调查中的应用——以威海褚岛北部海域为例[J].山东国土资源,2020,36(1):72-78.
GU Xiaoyuan, YU Jianfeng, HAN Mingzhi, et al. Application of single channel seismic technique in marine geological survey: A case study of the northern waters of Zhudao, Weihai[J]. Shandong Land Resources, 2020, 36(1):72-78.
- [3] 冯英明,许丙彩,郝义,等.日照市海洋牧场示范区人工鱼礁选址适宜性评价[J].山东国土资源,2020,36(1):44-50.
FENG Yingming, XU Bingcai, HAO Yi, et al. Site suitability evaluation of artificial reef in Rizhao marine pasture demonstration area[J]. Shandong Land Resources, 2020, 36(1):44-50.
- [4] 张新虎,刘建宏,黄万堂,等.绿色勘查理念:认知、探索与实践[J].甘肃地质,2017,26(1):1-7.
ZHANG Xinhui, LIU Jianhong, HUANG Wantang, et al. Green exploration: Cognition, explore and practice[J]. Guasu Geology, 2017, 26(1):1-7.
- [5] 付建苗.新形势下地勘单位实现绿色发展的研究[J].能源与环保,2020,42(9):50-53.
FU Jianzhu. Research on the green development of geological prospecting units under new situation[J]. China Energy and Environmental Protection, 2020, 42(9):50-53.
- [6] 袁星芳.威海市地质环境质量评价[J].山东国土资源,2021,37(3):35-40.
YUAN Xingfang. Evaluation of geological environment quality about Weihai[J]. Shandong Land Resources, 2021, 37(3):35-40.
- [7] 马聘,隋聚昕,张福良.新时代我国矿产勘查可持续之路:绿色勘查[J].现代矿业,2018,596(12):15-20.
MA Pin, SUI Juxin, ZHANG Fuliang. Sustainable way of mineral exploration in new era: Green exploration[J]. Modern Mining, 2018, 596(12):15-20.
- [8] 孙之夫,游鲁南,王林钢,等.黄金地质绿色勘查方法与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):1-6.
SUN Zhifu, YOU Lunan, WANG Lingang, et al. Green geological exploration method and practice for gold[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunnelling), 2019, 46(4):1-6.
- [9] T/CMAS 0001—2018, 绿色勘查指南[S].
T/CMAS 0001—2018, Green exploration guide[S].
- [10] 胡志涛.浅析地勘工作中的绿色勘查[J].世界有色金属,2019(2):177-178.
HU Zhitao. Brief analysis of green exploration in geological prospecting[J]. World Nonferrous Metals, 2019(2):177-178.
- [11] 高超,李志彤,朱健勇,等.内蒙古地区绿色勘查实施探索与思考[J].世界有色金属,2018(10):279-281.

- GAO Chao, LI Zhitong, ZHU Jianyong, et al. Exploration and reflection on the implementation of green exploration in Inner Mongolia[J]. World Nonferrous Metals, 2018(10):279-281.
- [12] 马聘,张福良,雷晓力,等.当前推进绿色勘查工作的若干思考[J].中国矿业,2019,28(2):138-141.
- MA Cheng, ZHANG Fuliang, LEI Xiaoli, et al. Suggestions on promoting green exploration in China[J]. China Mining Magazine, 2019,28(2):138-141.
- [13] 马聘,尹娜,张福泉.绿色勘查行业标准编制有关问题探讨[J].资源行政管理与法制建设,2020,33(2):34-38.
- MA Cheng, YIN Na, ZHANG Fuquan. Discussion on issues concerning the establishment of green prospecting industry standard[J]. Resource Administration and Legal System Construction, 2020,33(2):34-38.
- [14] 文辉,申文金.关于绿色勘查标准化的思考[J].现代矿业,2017(9):8-12.
- WEN Hui, SHEN Wenjin. Thoughts on standardization of green exploration[J]. Modern Mining Industry, 2017(9):8-12.
- [15] 雷晓力,张瑶,张福良,等.新时期我国绿色勘查典型实践与技术应用研究[J].中国矿业,2019,20(2):124-128.
- LEI Xiaoli, ZHANG Yao, ZHANG Fuliang, et al. Research on typical practice and technology application of green exploration in China in the new period[J]. China Mining Magazine, 2019,20(2):124-128.
- [16] 胡利芳.新时代背景下有色金属绿色勘查技术体系研究[J].世界有色金属,2018(19):127-128.
- HU Lifang. Research on green exploration technology system of nonferrous metals in the new era[J]. World Nonferrous Metals, 2018(19):127-128.
- [17] 江涛,王佟,宋梅.煤炭行业绿色矿山建设标准及其评价指标初步探讨[J].煤田地质与勘探,2018,46(1):1-7.
- JIANG Tao, WANG Tong, SONG Mei. Preliminary discussion on construction standards and evaluation index of green coal mine[J]. Coal Geology and Exploration, 2018,46(1):1-7.
- [18] 孙升林,潘树任,吴国强,等.煤炭绿色矿山标准体系建设现状与展望[J].中国煤炭地质,2017,29(12):1-5.
- SUN Shenglin, PAN Shuren, WU Guoqiang, et al. Status quo and prospect of coal green mine standard system construction[J]. Coal Geology of China, 2017,29(12):1-5.
- [19] 吴元阔.关于绿色勘查的认识与思考[J].中国金属通报,2019(1):171-174.
- WU Yongkuo. Understanding and thinking about green exploration[J]. China Metal Bulletin, 2019(1):171-174.
- [20] 董学银.探矿工程中绿色勘查技术应用[J].世界有色金属,2020(14):127-128.
- DONG Xueyin. Application of green prospecting technology in exploration engineering[J]. World Nonferrous Metals, 2020(14):127-128.
- [21] 贾占宏,高元宏,梁俭,等.绿色地质勘查综合技术应用分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):1-4.
- JIA Zhanhong, GAO Yuanhong, LIANG Jian, et al. Application and analysis on comprehensive technology of green geological prospecting[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunnelling), 2017,44(4):1-4.
- [22] 潘树任,潘海洋,谢志清,等.新时代背景下煤炭绿色勘查技术体系研究[J].中国煤炭地质,2018,30(6):10-13.
- PAN Shuren, PAN Haiyang, XIE Zhiqing, et al. Study on technical system of green coal exploration under the background of new Era[J]. Coal Geology of China, 2018,30(6):10-13.
- [23] 曹代勇,魏迎春,宁树正.绿色煤炭基础地质工作框架刍议[J].煤田地质与勘探,2018,46(3):1-5.
- CAO Daiyong, WEI Yingchun, NING Shuzheng. The framework of basic geological works for green coal[J]. Coal Geology and Exploration, 2018,46(3):1-5.
- [24] 王亚平.生态文明建设与入地系统优化的协同机理及实现路径研究[D].济南:山东师范大学,2019.
- WANG Yaping. Research on synergistic mechanism and realization path of ecological civilization construction and Man-Earth system optimization[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2019.
- [25] 张福良,薛迎喜,马聘,等.绿色勘查——新时代地质找矿新模式[J].中国国土资源经济,2018,31(8):11-15.
- ZHANG Fuliang, XUE Yinxi, MA Cheng, et al. Green geo-prospecting—A new model of geo-prospecting in the new era[J]. China Land Resources Economy, 2018,31(8):11-15.
- [26] 王维波.潍坊沿海防护堤二期工程项目可行性研究[D].镇江:江苏大学,2011.
- WANG Weibo. Feasibility study of weifang coastal protective dike project phase II [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2011.
- [27] 高峰,朱川林,李昊,等.海口海湾水动力自然灾害评估分析[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2019,49(9):130-138.
- GAO Feng, ZHU Chuanlin, LI Hao, et al. Evaluation and analysis of hydrodynamic natural disaster in Haikou Bay[J]. Journal of Ocean University of China (Natural Science Edition), 2019,49(9):130-138.
- [28] 赵忠泉,孙鸣,万晓明,等.微生物勘探技术在潮汕坳陷油气勘探中的应用初探[J].中国地质,2020,47(3):645-654.
- ZHAO Zhongquan, SUN Ming, WAN Xiaoming, et al. Application of microbial exploration technology in oil and gas exploration in Chaoshan Depression[J]. Geology in China, 2020,47(3):645-654.
- [29] 刘珊珊.青岛近海海域沉积物重金属环境质量评价研究[D].石家庄:石家庄经济学院,2013.
- LIU Shanshan. Environmental quality assessment of heavy metals in coastal sediments of Qingdao[D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang University of Economics, 2013.

(编辑 王文)