

海域金矿找矿方法研究

——以山东省莱州市三山岛北部海域金矿为例

田振环

山东省第一地质矿产勘查院, 济南, 250014

内容提要:莱州市三山岛北部海域金矿区是世界上第一个查明的海域岩金矿。它通过追索延伸至海域的三山岛断裂, 圈定破金找矿靶区。利用海域高精度磁测和浅地层剖面测量配合海上钻探, 找到了海域大型金矿。以三山岛海域金矿普查为依托, 研究出来的这套海域金矿找矿方法和海上钻探平台, 可为今后开展海域金及其它与断裂有关的矿产资源找矿, 提供指导和借鉴。

关键词:海域金矿; 找矿方法; 海域高精度磁测; 浅地层剖面测量; 海上钻探

随着我国社会经济的快速发展, 陆地矿产资源正在逐步枯竭, 20 世纪 90 年代以来, 人们把目光投向了占地球表面积 71% 的海洋上, 近岸陆架的地质成矿条件与陆地相似, 向近岸海域底岩索要固体矿产资源成为提供资源保障的必然选择。实施资源替代战略, 向海洋要资源, 以海洋资源的高效利用缓解陆地环境和社会压力。近岸海域的底岩矿产资源开发利用, 同陆地一样, 或从海岸开拓巷道延伸至海底矿体, 或构筑人工岛, 目前的技术经济条件均能满足其开采要求。以往国外开展的近海金矿勘查, 仅限于滨海砂金矿, 如美国阿拉斯加、俄勒冈的滨海砂金矿床 (Wei Zhou et al., 2004), 尚无进行海域岩金矿勘查的先例。

山东省金矿勘查程度已经很高, 陆地金矿资源勘查研究程度已较高 (Li Hongji, 2002), 尤其是招(远)-莱(州)金矿集中区 (Li Junjian et al., 2005) 毗邻渤海, 但近岸海域金矿研究程度、勘查程度极低。NE 向三山岛断裂带是胶东地区最重要的金成矿带之一 (Miao Shengjun et al., 2004), 南北两端均延伸到海域。在陆地 11 km 的三山岛断裂带上已经发现三山岛、新立、仓上三个大型金矿床 (Xu Jiuhua et al., 2004), 延伸到海域的三山岛断裂带是寻找金矿的有利地段。在综合研究的基础上, 2005 年山东省第一地质矿产勘查院向原国土资源部提交了山

东省莱州市三山岛北部海域金矿普查探矿权申请材料, 2006 年 7 月取得三山岛北部海域金矿普查勘查许可证。并于 2006~2011 年在三山岛北部海域开展了普查工作, 发现了三山岛北部海域大型金矿, 并形成了一套较科学的、效果显著的海域金矿找矿方法。

1 背景技术

世界各国都非常重视海洋矿产资源的勘探、开发, 海洋油气资源勘探方法技术已经非常成熟, 当时海底表层砂矿 (Fang Changqing et al., 2002)、底岩煤炭 (Cao Yanling et al., 2013, 2017) 等近水平产出的非矿产资源也已有成功勘探的案例。但形态不规则或受断裂控制、平面上呈线状分布的海底金矿和其他贵金属、有色金属矿产资源勘探尚缺乏可行的技术方法, 海域地质勘查困难重重。

以往国内外金矿找矿是在地面地质调查、取样分析和找矿标志的基础上进行的。主要从地表的成矿构造、地球化学、地球物理、矿物学、岩石建造等方面, 梳理出其找矿标志和目标金矿化体(脉), 对金矿化体(脉)实施坑探、钻探的取样达到查明金矿床的目的。胶东地区是金矿找矿方法研究相对较成熟的地区, 主要目标金矿床是赋存于成矿断裂中的构造破碎带蚀变岩型金矿, 激发极化法测量是一种非常

收稿日期: 2019-08-09, 改回日期: 2019-09-10; 责任编辑: 李曼。

作者简介: 田振环, 男, 1983 年生。海洋地质高级工程师, 主要从事海洋地质调查和海洋矿产勘查工作。Email: tt266003@163.com。

引用本文:田振环. 2019. 海域金矿找矿方法研究——以山东省莱州市三山岛北部海域金矿为例. 地质学报, 93(s1): 19~28, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019206.
Tian Zhenhuan. 2019. Research on prospecting methods for gold deposits in sea area——An example from the gold deposits in the north of Sanshan Island in Laizhou City of Shandong Province. Acta Geologica Sinica, 93(s1): 19~28.

有效的找矿方法。由于矿石含有一定数量的硫化物,矿体与围岩存在显著的极化率差异,在矿体上方形成激电异常。含金硫化矿物富集带的焦家、东季、河东、马塘、寺庄等激电异常,后均已被钻探揭露,证实为特大型金矿体引起。所以金矿的找矿聚焦于寻找含硫化物的断裂带。迄今,传统的激发极化法测量等金矿找矿方法无法在海域金矿找矿中奏效。

在三山岛北部海域金矿普查项目开展之前,国内外都是在陆地上寻找金矿,在陆地的金矿找矿方法已经比较成熟(Zhai Yusheng, 1994)。即①通过地质调查、地球化学勘查、地球物理勘查等手段,寻找含金断裂蚀变带;②施工探槽、浅井,确定含金断裂蚀变带的产状和规模及浅部含矿情况;③部署钻探和坑探进行取样分析、编录,控制矿体空间形态。

在陆地上,开展金矿找矿可以实地调查观察、取样分析;开展地球化学勘查、地球物理勘查时,可以用测量仪器布置测网,按照网度进行工作,编制出各种找矿需要的图件。但在海域则无法照搬陆地的找矿方法手段,存在以下难点:

(1)在海域内,由于海水覆盖,无法采用地质调查法、地球化学法找矿;无法施工和编录探槽、浅井。

(2)陆地上金矿找矿利用矿化露头及碎屑标志、地层标志、近矿围岩蚀变标志、地球化学标志、古采遗迹标志和地形地貌标志等找矿标志进行找矿,这些找矿标志都是金矿床(体)或含金地质体在自然界中直接和间接的客观反映。在找矿中根据这些找矿信息的综合分析和研究,既可有效地圈定和缩小找矿靶区,又可确定矿床或含金地质体的具体空间位置,展布方位和产状变化,甚至可以大致判断出含金性好坏和矿床的基本规模。而在海域则无法利用这些标志有效地圈定和缩小找矿靶区。

(3)由于海水的低阻屏蔽,在海域无法使用金矿找矿效果较好的激发极化电法等电法勘探。

(4)开展浅海高精度磁测时,由于拖曳式海洋磁力仪入水深度的限制,无法在近岸浅海区进行磁测,在海域磁测区与陆地磁测区之间会产生很宽的磁测

空白区带,不利于陆海磁测数据的衔接和资料解释。

(5)使用拖曳式海洋磁力仪进行磁测,为消除船体感应磁场和固定磁场对传感器的影响,拖鱼与GPS天线之间的拖曳电缆长度要大于船长的三倍,无法同位测量拖鱼的实时坐标,不能达到高精度磁测的点位误差要求。

(6)在海域内开展岩心钻探需要钻探平台,但当时的钻探平台均为大型的石油钻探平台,使用成本极高,高风险的普查找矿无法承受其高额勘查成本。基于以上分析,海域金矿的找矿方法不同于陆地,属于海水+第四系覆盖的特殊盲矿床;必须依赖于海域物探手段和地质成矿理论分析,先定位成矿断裂带,选择成矿有利地段开展海上钻探。经反复试验、对比研究,最终确定了成矿构造研究+高精度磁测+浅地层剖面测量+海上钻探的海域金矿找矿技术路线(图1)。

2 方法详述

2.1 选择金矿成矿有利区域

根据海岸带、陆地地质构造和成矿规律,选择陆地主要金成矿(区)带延伸到海域的部分作为有利成矿区域。有利成矿区域的选择包括如下标志:①陆地已知成矿有利区域或主要成矿带向海域的延伸部分;②具有与陆地已知成矿区一致成矿地质条件的浅海海域;③陆地已知金矿成矿断裂带向海域的延伸部分;④陆地上已知金矿床(点)沿控矿断裂等间距分布的海域部位。三山岛北部海域作为找金的靶区的依据是:

(1)三山岛北部海域金矿床成矿条件好,三山岛断裂带是招掖金矿集中区最主要的控矿、导矿断裂之一(Deng Jun et al., 1999),赋存三山岛金矿床的三山岛断裂及破碎带蚀变岩没有封闭(Deng Jun et al., 2006),表明该矿床仍有找矿潜力;

(2)根据三山岛断裂在陆地部分的断裂宽度、延深等构造特征,其长度不会仅仅是陆地已查明的11 km,推测三山岛断裂长度应该大于30 km,延伸到

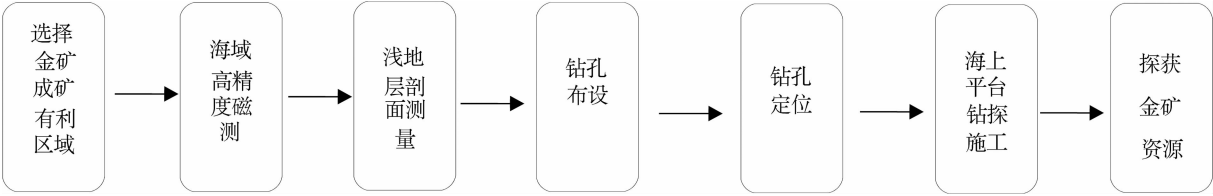


图1 三山岛北部海域金矿普查金矿找矿方法

Fig. 1 Gold prospecting method for gold deposits in the northern waters of Sanshan Island

海域的断裂带长度大于陆地断裂带长度;

(3)三山岛金矿床勘查显示的金矿体延深大于延长的结果(Deng Jun et al. , 1996,2004),不符合延长大于延伸的区域金成矿规律,三山岛金矿床两端的延长地段仍是金矿体赋存的有利部位;

(4)三山岛断裂带的黄铁绢英岩化蚀变和金矿化都很强,与焦家金成矿带成矿地质特征相似,在延长上矿体具等间距赋存的规律(Yang Liqiang et al. , 2006),矿体间隔为 2000 m 左右,推测三山岛金矿床北侧海域沿三山岛断裂 2 km 处为可能的矿体位置。

2.2 海域高精度磁测

开展海域高精度磁测的目的是取得勘查区内主要断裂构造的规模和产状信息;获得区内磁性地层分布特征,解释断裂构造、进行地层划分(地层填图)。通过反演计算得到海域断层的走向、倾向、倾角。在三山岛北部海域进行金矿找矿创新性地使用改造后的氦光泵(陆地用)磁力仪进行海域高精度磁测,解决了拖曳式海洋磁力仪不能测量的极浅海区,避免了磁力仪拖鱼缠挂养殖设施等一系列技术难点。

(1)测前准备。首先对陆地使用的氦光泵磁力仪进行改造(图 2),磁测仪器探头和 GPS 天线密封在一垂直 PVC 管内,PVC 管底部固定磁测探头,顶部固定 GPS 天线,以此来保证磁测点与坐标测量点同位。测量船使用后置全铝汽油机为动力的木质船或气垫船(图 3),测量船安装可升降的长支撑杆,支撑杆探出船头 12 m,支撑杆顶端垂直安放 PVC 管;磁测探头和天线用电缆接入船舱内的计算机;使用同步控制器调整高精度氦光泵磁力仪的仪器时间与 GPS 授时同步;GPS 和磁测仪器均通过电缆使用测量船的电源供电。采用时间间隔控制的连续测量方式;船舱内的计算机安装有海洋高精度磁测导航软件(图 4),在计算机上设置测线和测量时间间隔。

(2)磁测仪器采用改造的高精度氦光泵磁力仪;测点坐标采用星链差分 GPS 定位仪,定位精度:水平<15 cm,高程<30 cm。

(3)测前准备完成后,为保证高精度磁测点位坐标精度,经点位重测比较,确认无误后开始磁测工作;在高精度磁测导航软件上,输入设定参数自动完成测线布置;总基点和日变观测站布置在沿海防护林中,无人干扰;通过 400 个的点位重测比较, GPS 信标机测点漂移小于 0.2 m,磁测仪器读数稳定可靠,总均方误差为±2.61 nT,所得结果小于磁

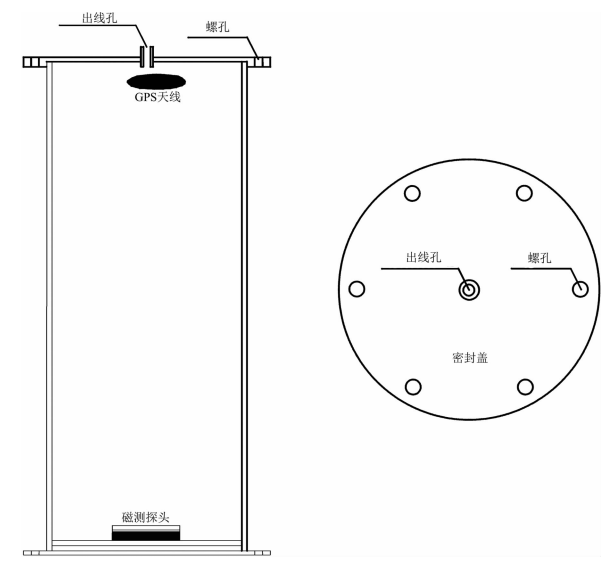


图 2 磁测探头与 GPS 天线 PVC 管密封示意图
Fig. 2 Schematic diagram of magnetic probe sealing with GPS antenna and PVC pipe

测设计工作精度,满足开展磁测工作的条件。

(4)采用时间间隔 5 秒的连续测量方式,通过工作船上计算机安装的海洋高精度磁测导航软件用来设置 Mark 点间隔。Mark 点时间、测线方向、磁测数据和坐标数据即时存储于计算机硬盘。测量船控制航速 3 节至 4 节,每 5 秒记录一次 Mark 点磁测数据和测点坐标(x,y,h);

(5)计算机内存储的高精度磁测结果为以测线为单位的文本格式文件,每行数据内容包括:测量点顺序号、时间、坐标 x,y,h 、总磁场 ΔT 。

(6)海域内无法取得磁参数测定标本,利用三山岛断裂带上 3 个已知金矿的岩(矿)石磁性参数统计数据对磁异常解释;高精度磁测总观测精度±2.86 nT,满足地面高精度磁测规范要求。

(7)利用计算机处理数据,编制高精度磁测 ΔT 剖面平面图、高精度磁测 ΔT 等值线平面图、高精度磁测化极 ΔT (包括上延 50 m、100 m、200 m、450 m)等值线平面图、高精度磁测化极 $\Delta T(0^{\circ},45^{\circ},90^{\circ},135^{\circ}$ 水平和垂向)方向导数图、磁异常解释图及相关报告等;根据磁异常特征结合陆域地质情况,推断三山岛控矿断裂的位置和产状,勘探线上进行磁性精确剖面测量。

2.3 浅地层剖面测量

开展浅地层剖面测量的目的是为获取海底第四纪沉积厚度、基岩起伏微地貌特征,鉴于断裂构造在地表常形成现状负地形,可间接获取海底断裂的海底位置。



图 3 高精度磁测仪器安放示意图
Fig. 3 Schematic diagram of high-precision magnetic measuring instrument

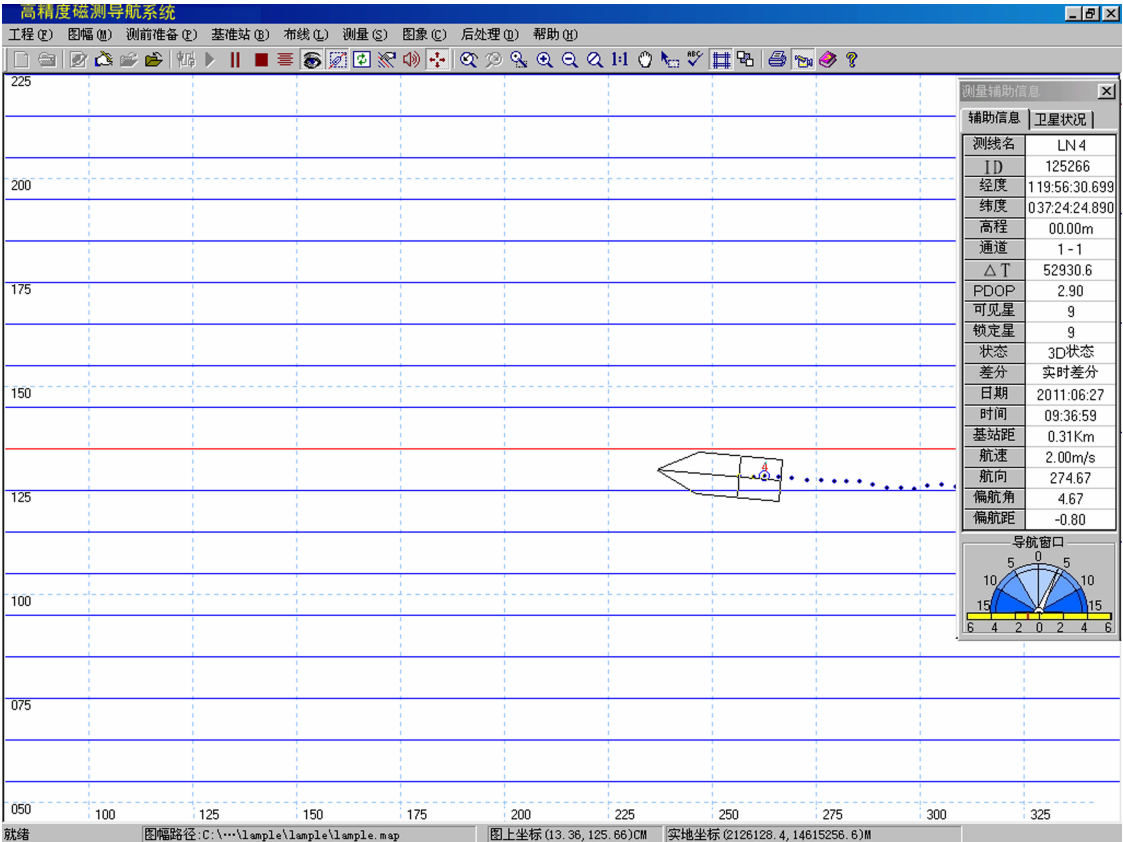


图 4 高精度磁测导航系统界面
Fig. 4 Interface of high-precision magnetic survey navigation system

(1)浅地层剖面测量使用 CSP2200 型中地层剖面仪,最大穿透深度 100 m,分辨率 0.3 m,定位采用星链差分 GPS 定位仪,测(航)线与高精度磁测重合,测前进行精度比测(图 5),以保证定位精度。

(2)将浅地层探测记录所得的距离-时间剖面换算为距离-深度剖面,进行声学地层的埋深和厚度计算。使用专用 C-View Tool 软件,直接进行屏幕数

字化(图 6)。使用数字化测深仪同步进行水深地形测量;根据声学记录图像,将各相关定位点的水深和各声学地层底界面的埋藏深度值,按设计比例尺进行标注。

(3)根据明显的声阻抗反射界面,划分声学地层底界面,由上及下分别命名为 R0、R1、R2……,其中 R0 为海底;根据浅地层剖面记录图像连续可追踪的

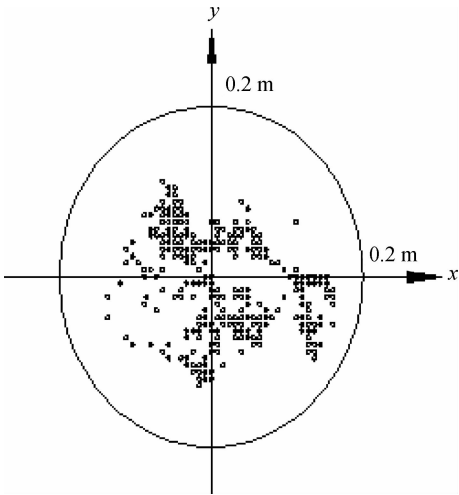


图 5 GPS 比测点漂移精度图

Fig. 5 GPS point drift accuracy chart

声阻抗反射界面错断,判断为断层(图 7);在海底基岩三维地形图上控矿断裂表现为线性影象(图 8);断层为可连续追踪的声阻抗反射界面出现明显错断现象,高精度磁测解释断层结合测线上声阻抗反射界面相对错断方向及相邻测线的声阻抗反射界面错断特征。

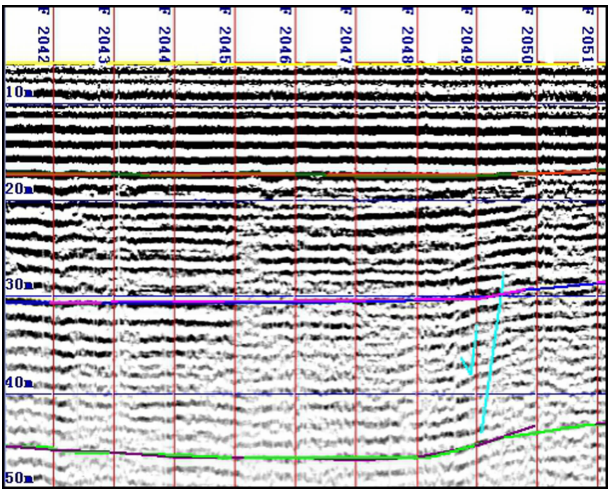


图 7 浅地层剖面测量记录图象的声阻抗界面及断层

Fig. 7 Acoustic impedance interface and fault of shallow formation profile measurement recording image

2.4 设计验证钻孔

对高精度磁测的精测剖面与浅地层剖面进行叠合解释,判断出控矿断裂准确位置和产状,在高精度磁测与浅地层综合勘探线剖面设计验证钻孔。

(1)判断控矿断裂位置和产状的标志和内容如

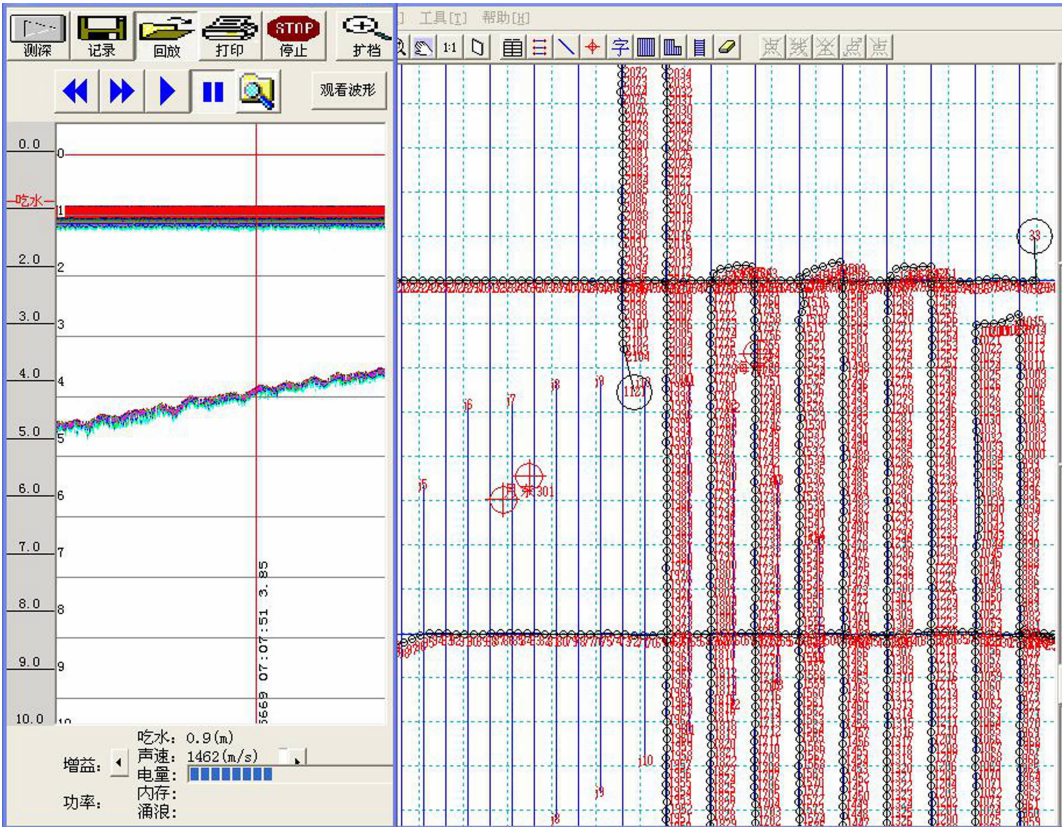


图 6 浅地层剖面测量导航窗口界面

Fig. 6 Navigation window interface of shallow formation profile measurement

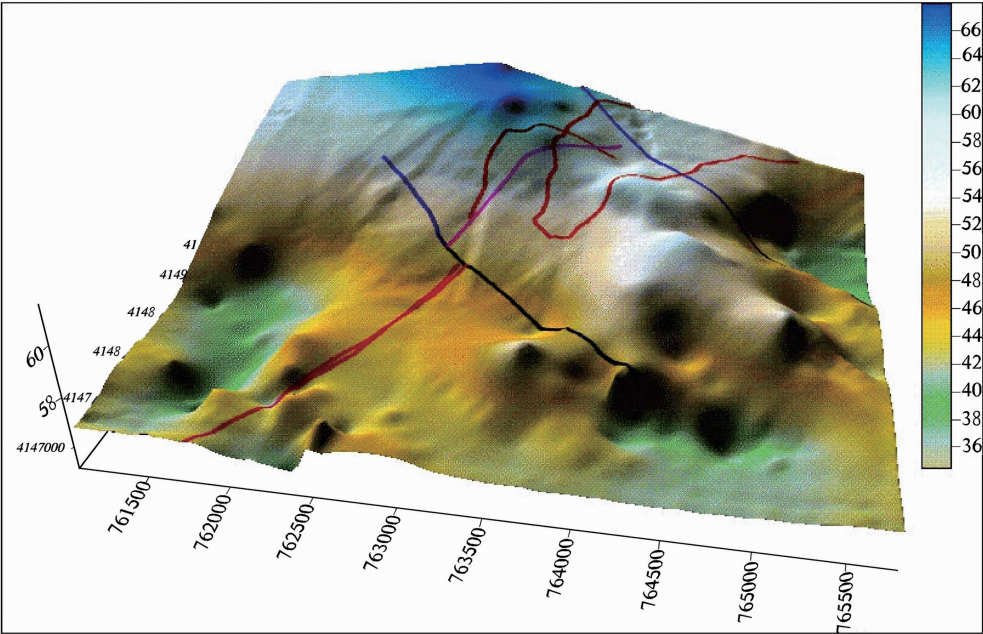


图 8 矿区海域海底基岩三维地形图

Fig. 8 Three-dimensional topography map of seabed bedrock in the mining area

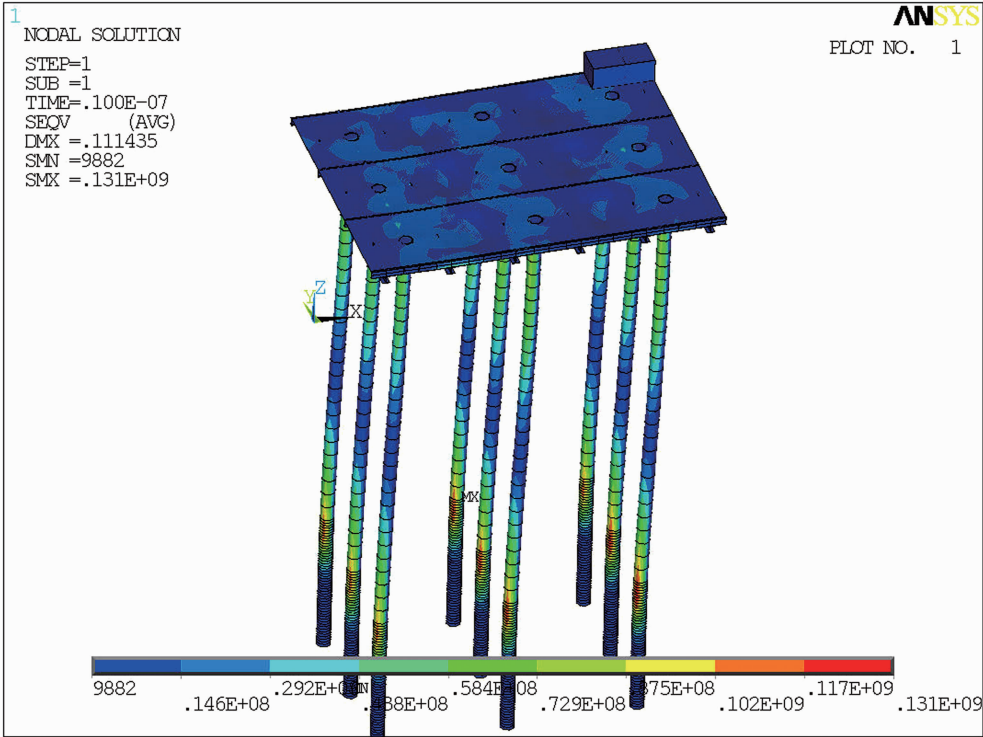


图 9 平台在设计载荷作用下的应力分布(整体)

Fig. 9 Stress distribution of the platform under design load (overall)

下:正负磁场过渡带、正磁场中由低到高的过渡带或正磁场中的低值带,强度较大平稳磁场区中的低磁或负磁异常带,平稳磁场区中的串珠状磁异常带,磁异常的扭曲、错动、变形、宽度突变等。

(2)陆地已知控矿断裂与海域高精度磁测 ΔT 化极等值线图断层位置和浅地层剖面测量解释断层一致的断层,为陆地已知控矿断裂延伸至海域部分。

(3)高精度磁测剖面推断的断层位置与浅地层剖面断层位置的吻合点,为控矿断裂在海底第四系之下在基岩的位置点。

(4)沿控矿断裂上划分最佳成矿区段,根据海域控矿断裂的走向、倾向、倾角,在矿区海底基岩地质图和勘探线剖面图上确定钻孔位置坐标和钻孔深度。最佳成矿区段包括如下标志:线型磁异常转弯处、交叉点;三山岛断裂走向拐弯位置及与其它不同走向断裂的交叉位置;三山岛断裂与玲珑花岗岩边界的复合位置;陆地上三山岛金矿床向东北方向侧伏的位置。

(5)设计钻孔位置包括如下原则:设计控制矿体的钻孔深度时要充分考虑到海底采矿的安全性;钻孔位置应位于控矿断裂上盘;根据矿床勘查类型确定设计钻孔间距。

2.5 钻孔定位

海域钻探必须有安全可靠的海上平台,从成本考虑,自行设计了海上简易钻探平台,并申请了实用新型专利,实现海域钻探成本降低 90%。海上钻探平台使用 CORS-RTK 测量仪器完成设计钻孔的精准定位。

(1)海上平台施工前的准备:根据浅地层剖面测量读取第四系厚度,利用浅钻取得海底地层土的粘聚力、有效容重、内摩擦角等参数,确定平台桩腿打入深度、桩径;搜集工作区的波浪、潮汐潮流和气象资料;依据平台设计载荷和以上资料,构建平台结构有限元数字模型,基于 API 规范推荐的桩土作用

荷载-位移关系曲线描述桩基与土壤之间的相互作用,实现桩土结构耦合作用的数字仿真;根据工作海域环境资料及设计环境载荷,对平台进行强度校核及稳定性分析。采用 ANSYS 系统(方长青, 2010^①),进行平台设计载荷下的安全评估分析以及平台极限承载能力分析(图 9)。

(2)钻探设备安装固定(图 10)。施工采用自有专利海上平台(专利号:ZL201320416416.2),施工前,进行强度校核及稳定性分析。搭建海上钻探平台时,将其固定在施工船的一侧。首先,进行粗定位,根据设计的理论孔位坐标将钻探平台通过施工船拖到预定孔位处后,在尽量短的时间内将施工船的 4 只定位锚抛在施工船的 4 个方向,固定住施工船。然后,进行精确定位,通过施工船上的 4 个定位绞盘收放四条锚链拖动施工船,直至钻探平台中心与理论孔位坐标重合,迅速将钻探平台的 9 根固定桩打入海底 5~15 m 深度,再将钻探平台通过安装在固定桩顶部绞盘提升到设计高度,钻探平台搭建完毕。检查孔位无误后,将钻机吊到平台上进行钻探施工;中心桩兼作隔水管。

(3)孔位定测,钻探施工完成后,进行孔位定测,获取了钻探孔位的平面坐标和孔位高程最终数据。工程测量采用了基于连续运行卫星定位服务综合系统(SDCORS)的 RTK 技术(Yao Lianbi et al., 2004),CORS-RTK 技术海上定位测量成果完全可以满足地质测量及相关规范要求(Song Chao et al., 2012)。

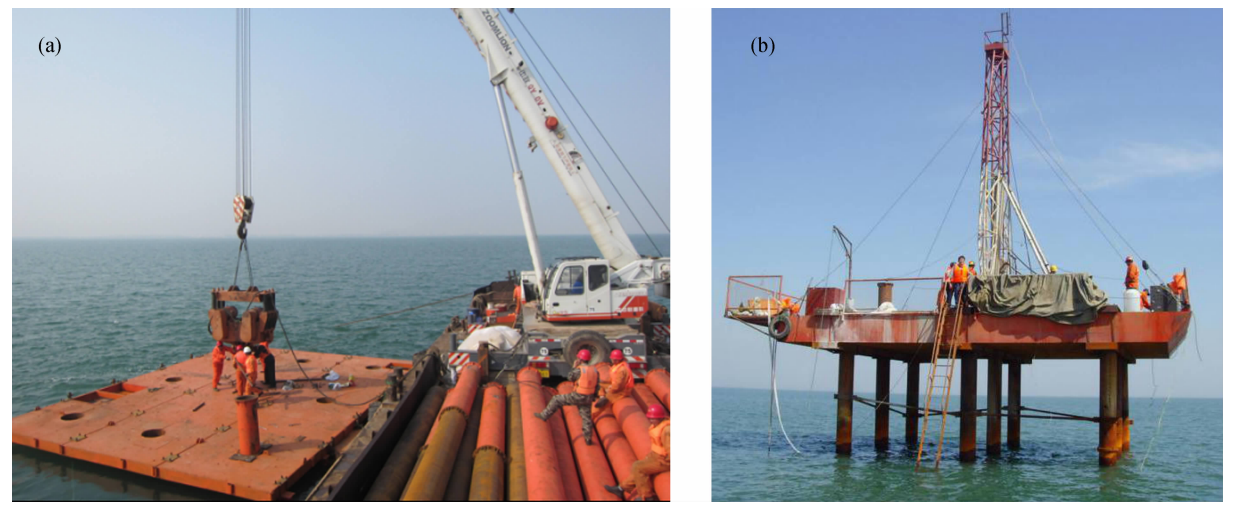


图 10 平台搭建组图
Fig. 10 Photos of platform construction
(a)—平台打桩;(b)—架设钻机
(a)—pile driving; (b)—set up drill

2.6 海上平台钻探施工

(1) 钻探施工使用 XY-4、XY-44、XY-5、XY-6、XY-6B、XY-8 等型号钻机,采用机械回转小口径金刚石钻进,绳索取芯工艺;

(2) 采用跟管钻进方式,根据地质情况确定下套管深度,一般 3 级套管。第一级施工套管一般下至 20 m 左右,穿过海底软弱沉积层至稳定持力层;第二级施工套管一般下至 50~70 m,穿过第四系至基岩;第三级根据岩石破碎程度下至 150~300 m 不等;

(3) 封孔,不考虑矿层与含水层位置,实行从孔底至孔口海底位置全孔封闭;

(4) 洗孔,为使注入孔内的水泥浆与孔壁很好的胶结,用清水洗孔,一般使用清水循环 3 h 以上,对使用泥浆做冲洗液的钻孔,要下入外钢丝钻头,破坏孔壁泥皮后,再进行洗孔;

(5) 封孔材料,采用水泥黄砂浆封孔,水泥标号不低于 P.O 42.5,黄砂干净无无岩屑无杂质,封孔水泥浆的配方为水泥:砂:淡水(重量比)=1:1:0.5。为了提高水泥砂浆的流动性,延长初凝时间,水泥浆内根据孔深和预计操作时间,适当加入减水剂和缓凝剂,减水剂和缓凝剂采用高糖木质素磺酸钙类,加入比例 0.2%;

(6) 为防止套管提出后塌孔,新鲜岩石面以上的套管采用先灌注水泥浆再提出套管的方式封孔。

(7) 每个钻孔施工完成后,均进行孔位坐标测定,记录钻探孔位的平面坐标和孔位高程最终数据。

2.7 探获金矿资源储量

每个钻孔岩(矿)心均需编录、取样、化验分析测试,得到海域金矿(化)体的空间位置和金品位变化情况。完成所有设计钻孔后编制报告,获取金矿资源储量。

3 找矿效果

自 2006 年取得探矿权,山东省第一地质矿产勘查院在三山岛北部海域金矿开展了多种勘查技术方法的摸索工作,2007 年完成全区高精度磁测,2008 年完成全区浅地层剖面测量,2009 年~2010 年完成物探异常钻孔验证施工,证实三山岛断裂向两侧延伸到海域,证实所选找矿靶区正确;钻孔揭露的三山岛断裂与物探解释断裂位置误差 10~15 m;ZK2401 孔发现 3 层金矿体,总厚度 3.68 m,平均品位 6.35×10^{-6} ,估算金金属资源量约 200 kg。2011 年开始按第 I 勘查类型系统部署钻探工程,施工了

SZK2804、SZK2806、SZK3206 三个钻孔,2012 年提交了三山岛北部海域金矿普查报告,普查阶段圈定 7 个金矿体,探获(332)+(333)金金属量 64319 kg,平均品位 5.71 g/t(方长青等,2014^①)。至此,国内最大的单体金矿拉开序幕。

4 结语

通过三山岛北部海域金矿的找矿方法研究,为今后开展海域寻找金属矿产提供了一种有效的海域金矿找矿程序、方法。

通过三山岛北部海域金矿的勘查实践,证明总结出的海域金矿找矿方法实用、有效,并找到了大型海域金矿。在莱州海北咀海域进一步验证了三山岛断裂向北的延伸。

海域高精度磁异常图上的断裂往往呈正负磁场过渡带、正磁场中由低到高的过渡带或正磁场中的低值带、强度较大平稳磁场区中的低磁或负磁异常带、平稳磁场区中的串珠状磁异常带,磁异常的扭曲、错动、变形、宽度突变等特征。而海域断裂在浅地层剖面确定的基岩地形图上往往呈线状负地形,这是由于断裂带内的岩石破碎,海底基岩经历了较强的风化作用、冲刷作用,在强烈的水动力作用下,形成相对负地形。海域金成矿断裂带具有海水加第四系覆盖层的特点,以陆地的金成矿断裂破碎带为源头,追索延伸到海域的成矿断裂带,利用海域高精度磁测、浅地层剖面测量可较准确的定位海域断裂的位置、产状和规模。该方法可以精确确定海域断裂带,属间接找矿法。但尚不能根据矿体的物理性质、化学性质区分矿体与围岩。

海域钻探需要适宜的钻探平台,但目前的石油钻探平台功能规模大,造价及运行成本极高,无法适应勘查风险很大的固体矿产钻探。必须建造安全可靠、建造及运行成本低廉的海上钻探平台,我院研发的海上钻探方法,其综合钻探成本与陆地钻探相当。

该方法将地质方法、高精度磁测、浅地层剖面测量、钻孔定位与施工相结合,实现了人机交互,地质理论认识与仪器精准定位紧密配合。具有简便、高效率、找矿效果明显。该方法也可用于赋存于断裂带内的其它金属矿床勘查。

注 释

① 方长青. 2010. 莱州湾三山岛海域钻探简易平台安全评估报告. 济南: 山东省第一地质矿产勘查院.

② 方长青, 王在鹏, 冯启伟. 2014. 山东省莱州市三山岛北部海域矿

区金矿普查报告. 济南:山东省第一地质矿产勘查院.

References

Cao Yanling, Wang Lin, Tian Zhenhuan. 2013. Application of 3D seismic exploration in sea coal feild of Liangjia coal mine in Huangxian County of Shandong Province. Shandong Land and Resources, 29(12):36~39 (in Chinese with English abstract).

Cao Yanling, Li Jinshan, Tian Zhenhuan, Wang Zhaozhong, Wang Lin. 2017. Research of marine coal seams correlation: A case study of Liangjia coal mine, Huangxian coalfield. Periodical of Ocean University of China, 47(11):79~85 (in Chinese with English abstract).

Deng Jun, Xu Shouli, Lu Guxian, Chen Zhengle. 1996. Researches of fracture structure and mineralization in Northwest Jiaodong. Geoscience, 10(4):502~511 (in Chinese with English abstract).

Deng Jun, Zhai Yusheng, Yang Liqiang. 1999. Tectonic evolution and dynamics of metallogenic system an example from the gold ore deposits-concentrated area in Jiaodong, Shandong, China. Earth Science Frontiers, 6(2):315~323 (in Chinese with English abstract).

Deng Jun, Wang Qingfei, Yang Liqiang, Wang Janping, Gao Bangfei, Liu Yan. 2004. The geological settings to the gold metallogeny in northwestern Jiaodong Peninsula, Shandong Province. Earth Science Frontiers, 11(4):527~533 (in Chinese with English abstract).

Deng Jun, Yang Liqiang, Ge Liangsheng, Wang Qingfei, Zhang Jing, Gao Bangfei, Zhou Yinghua, Jiang Shaoqing. 2006. Research advances in the Mesozoic tectonic regimes during the form ation of Jiaodong ore cluster area. Progress in Natural Science, 16(05):513~518 (in Chinese with English abstract).

Fang Changqing, Yin Sufang, Sun Ligong, Tan Dejun, Xing Aihong. 2002. Types and exploration future of offshore sand mineral resource in Shandong Province. Geology of Shandong, 18(6):26~32 (in Chinese with English abstract).

Li Hongji. 2002. Ore-forming rule of endogenetic gold deposit in North of Jiaodong area. Geology of Shandong, 18(3-4):72~77 (in Chinese with English abstract).

Li Junjian, Luo Zhenkuan, Liu Xiaoyang, Xu Weidong, Luo Hui. 2005. Geodynamic setting for formation of large_superlarge gold deposits and Mesozoic granites in Jiaodong area. Mineral Deposits, 24(4):361~372 (in Chinese with English abstract).

Miao Shengjun, Wan Linhai, Lai Xingping, Wang Shuanghong. 2004. Relation analysis between in-situ stress field and geological tectonism in Sanshandao gold mine. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 23(23):3996~3999.

Song Chao, Hao Jinming. 2012. Dynamic psitioning accuracy testing of maritime GPS equipment. Journal of Geomatics Science and Technology, 29(3):183~185 (in Chinese with English

abstract).

Xu Jiuhua, Xie Yuling, Han Yi, Li Qianmao. 2004. Characteristics of gold-bearing sulfides and their geological significance in Sanshandao gold deposit, eastern Shandong Province. Geology and Mineral Resources of South China, 1(1):1~6 (in Chinese with English abstract).

Yang Liqiang, Deng Jun, Wang Qingfei. 2006. Coupling effects on gold mineralization of deep and shallow structures in the northwestern Jiaodong Peninsula, Eastern China. Acta Gologica Sinica (English Edition), 80(3):400~411.

Yao Lianbi, Liu Chun. 2004. Determination and calculation method of ship fixed coordinates of equipment in pile driving positioning system. Geotechnical Investigation and Surveying, (5):53~54 (in Chinese with English abstract).

Zhai Yusheng. 1994. Metallogenic series of ore deposits. Frontiers of Geosciences, 1(3~4):90~94.

参 考 文 献

曹艳玲,王琳,田振环. 2013. 三维地震勘探在山东省黄县煤田梁家煤矿海上煤田的应用. 山东国土资源, 29(12):36~39.

曹艳玲,李金山,田振环,王兆忠,王琳. 2017. 海域煤矿煤层对比研究—以黄县煤田梁家煤矿为例. 中国海洋大学学报:自然科学版, 47(11):79~85.

邓军,徐守礼,吕古贤,陈正乐,舒斌. 1996. 胶东西北部断裂构造与成矿作用研究. 现代地质, 10(4):502~511.

邓军,翟裕生,杨立强,肖荣阁,孙忠实. 1999. 构造演化与成矿系统动力学—以胶东金矿集中区为例. 地学前缘, 6(2):315~323.

邓军,王庆飞,杨立强,王建平,高帮飞,刘琰. 2004. 胶西北金矿集区成矿作用发生的地质背景. 地学前缘, 11(4):527~533.

邓军,杨立强,葛良胜,王庆飞,张静,高帮飞,周应华,江少卿. 2006. 胶东矿集区形成的构造体制研究进展. 自然科学进展, 16(05):513~518.

方长青,尹素芳,孙立功,谭得军,邢爱红. 2002. 山东省近海砂矿资源类型划分及开发前景. 山东地质, 18(6):26~32.

李宏骥. 2002. 胶北地区内生金矿成矿规律. 山东地质, 18(3-4):72~77.

李俊建,罗镇宽,刘晓阳,徐卫东,骆辉. 2005. 胶东中生代花岗岩及大型—超大型金矿床形成的地球动力学环境. 矿床地质, 24(4):361~372.

苗胜军,万林海,来兴平,王双红. 2004. 三山岛金矿地应力场与地质构造关系分析. 岩石力学与工程学报, 23(23):3996~3999.

宋超,郝金明. 2012. GPS设备海上动态定位精度检测新方法. 测绘科学技术学报, 29(3):183~185.

徐九华,谢玉玲,韩屹,李前懋. 2004. 三山岛金矿床载金硫化物特征及其地质意义. 华南地质与矿产, (1):1~6. 姚连璧,刘春. 2004. 打桩定位系统中设备船固坐标的测定和计算方法. 工程勘察, (5):53~54.

**Research on prospecting methods for gold deposits in sea area
——An example from the gold deposits in the north of Sanshan
Island in Laizhou City of Shandong Province**

TIAN Zhenhuan *

Shandong Provincial No.1 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Jinan, 250014

** Corresponding author: tt266003@163.com*

Abstract

he offshore gold deposit in the north of Sanshan island in Laizhou city is the first offshore rock gold deposit in the world. By tracing the Sanshan island fault which extends to the sea area, it delineates the gold prospecting target area. Large gold deposits in sea area have been found by using high precision magnetic survey and shallow formation profile survey. Based on the gold prospecting survey in Sanshan island sea area, this set of gold prospecting methods and offshore drilling platform can provide guidance and reference for the future exploration of gold and other mineral resources related to faults in sea area.

Key words: gold deposits in sea area; prospecting methods; high precision magnetic survey of sea area; shallow formation profile survey; offshore drilling