

doi: 10.11720/wtyht.2017.3.07
刘建勋,周建勇,徐明才,等.地震勘查技术在喀拉通克矿区的应用[J].物探与化探,2017,41(3):437-444.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.3.07
Liu J X,Zhou J Y,Xu M C,et al.The application of seismic exploration technology in the Kalatongke orefield[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2017,41(3):437-444.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.3.07

地震勘查技术在喀拉通克矿区的应用

刘建勋¹,周建勇^{1,2},徐明才¹,王小江¹,张保卫¹,李培¹,
张凯¹,王凯¹,高景华¹,王广科¹,柴铭涛¹,荣立新¹

(1.中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所,河北 廊坊 065000; 2.中国地质大学(北京),北京 100083)

摘 要:目前,深部矿已成为我国矿产勘查的重要对象。由于深部矿具有埋深大、矿化信息弱、综合地质研究程度低的特点,使传统地球物理探测技术应用的有效性受到较大影响,造成深部矿勘查的难度加大。金属矿地震探测技术是一种有潜力的新方法技术,具有探测深度大、探测精度高等特点,将该方法技术应用于新疆喀拉通克铜镍矿区深部找矿,把压制干扰噪声作为数据采集和资料处理的重点,采用强能量震源激发、小道间距、高覆盖次数的观测系统,细化叠前去噪数据处理流程,取得了较好的探测效果,部分成果得到钻孔验证。

关键词:深部找矿;地震勘查;数据采集;叠前去噪

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2017)03-0437-08

0 引言

世界矿产勘查和开采的深度在不断加大,金属矿地震勘查方法技术的应用研究已越来越多。近几年俄罗斯、加拿大、澳大利亚和南非等国家开展了大量的金属矿地震方法技术研究和勘查工作,取得了十分明显的地质找矿效果。

在我国地表矿、易识别矿发现的机会越来越少,找矿难度日益增大,现有成矿理论和找矿实践说明深部具有巨大的找矿潜力。地震方法作为深部地质调查的重要手段,具有探测深度大、分辨率高、方法手段多元化的特点,可以给出深达数公里处的精细结构,能为深部找矿勘探提供丰富的信息。由于金属矿勘探所涉及到的区域要比能源勘探区域复杂的多,应用研究程度较低,目前,我国的金属矿地震勘查技术仍处在试验阶段。

将深部金属矿地震探测技术应用到新疆喀拉通克铜镍金属矿地震勘查中,获得了信噪比较高的金

属矿区地震成像剖面。有效探测了矿区中、深部精细结构,圈定了深部隐伏岩体,为矿区钻孔施工提供了地球物理依据,其中一些地震勘探结果已被钻探验证。

1 地质概况

喀拉通克铜镍矿区位于哈萨克斯坦—准噶尔板块与西伯利亚板块的接合部位南侧,处于喀拉通克晚古生代岛弧带上。出露地层主要为下泥盆统托让格库都克组(D_1t)、中泥盆统北塔山组(D_2b)、中泥盆统蕴都喀拉组(D_2y)、下石炭统南明水组(C_1n)、古近系(E)和第四系(Q),其中南明水组上段是区内主要含矿岩体的围岩。

区域上岩浆活动频繁,主要为海西早期至燕山期岩浆活动的产物,岩性复杂,从超基性岩到酸性岩均有发育,岩相自深成相、浅成相到喷发、喷溢相均有出露。

矿区断裂构造十分发育,且规模大、活动强烈,

主要有矿区北部呈北西向展布的额尔齐斯—玛因鄂博深大断裂(F_1)、矿区南部呈北西向展布的乌伦古河深大断裂(F_2)和矿区东部呈北北西向展布仍在活动的卡依尔特—二台大断裂(F_3)等。其中:北西向断裂在矿区和区域的构造格架中起主导作用,同时也控制了矿区和区域的地层、火成岩的形成和展布;北北西向断裂为与北西向断裂配套的低序次断裂,对于成矿岩体和矿体有控制作用;而近东西向断裂和北东向断裂为成矿后断裂,二者对于岩体和矿体有一定破坏作用,但宏观判据显示位移不大。

1.1 主要岩体分布

区内侵入岩主要为华力西中晚期侵入的中基性—超基性杂岩体,少数为华力西晚的酸性脉岩。喀拉通克岩体群受区域断裂构造和褶皱构造的控制,岩体均侵位于下石炭统南明水组中。矿区已发现基性岩体 11 个(图 1),按其产出特征及其与构造的关系,分为南北两个岩带。两个岩带沿 315° 走向平行展布,矿区重磁资料显示 Y2 西向北至 Y8~Y9 之间异常连成整体,但已有钻孔验证南北岩带之间在 400~600 m 标高以上不连接。南岩构造带由 Y1、Y2、Y3 号岩体组成,3 个岩体在本质上没有大的区别,为同源同期产物。3 个岩体由西向东,总的基性程度依次降低,金属硫化物总的含量依次减少。从矿体的赋存部位来看,Y3 岩体靠近岩体底板,Y2 岩体靠中部,Y1 岩体基本上全岩矿化,矿化位置更靠上。3 个岩体长约 4 km,宽 100~300 m,为隐伏、半隐伏岩体,侵位于下石炭统南明水组(C_{1n})中,其直接围岩为沉凝灰岩及凝灰质炭质泥板岩。北岩构造带分布于矿区中部偏北,与南岩带相距 400~600 m,由 Y4、Y5、Y6、Y7、Y8、Y9 岩体组成,呈不规则脉状—不规则分枝脉状,规模小,断续延长 2.2 km,宽 50~250 m;此外,Y10、Y11 岩体分布于矿区南部边缘,岩性为辉长岩,由于覆盖严重,其规模、形态不清。

矿区内 11 个岩体中有 9 个含矿岩体,其中 Y1、Y2、Y3、Y6、Y7、Y8、Y9 这 7 个岩体经以往勘查工作,均圈出工业矿床,矿床编号与岩体编号对应。其中:一号矿床经勘探为一大型镍矿,中型铜矿;二号矿床从目前工作取得的成果预计可达到大型镍矿,中型铜矿;三号矿床经详查为一中型铜镍矿床;六、七、八、九号矿床经普查均为小型铜、镍矿床,矿体多为氧化矿体。Y4、Y5 岩体有铜镍矿化,但工作程度不高,尚未圈出工业矿体。开展地震勘探就是为了探测 Y4、Y5 岩体及 Y3 岩体的深部地质构造。

万方数据

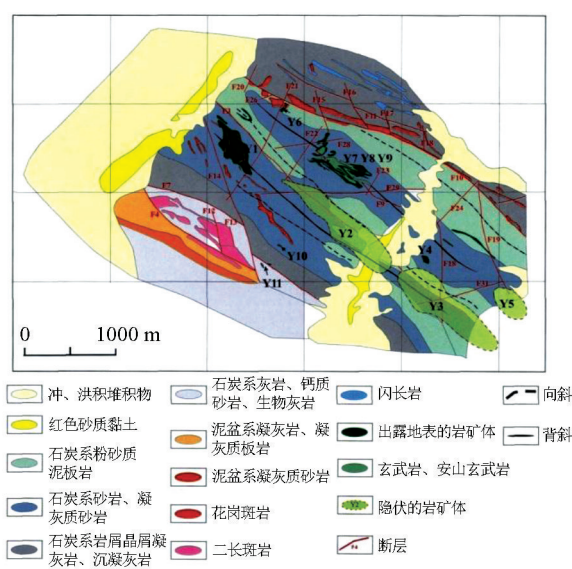


图 1 喀拉通克铜镍矿田地质图与岩体群分布 (据秦克章^[5])

1.2 以往工作中存在的主要问题

以往地质勘查工作主要集中在一、二、三号矿床,六、七、八、九号矿床控制程度较低,已知矿体的深部及旁侧有许多部位未控制。

喀拉通克矿区铜镍矿体具有强磁性、高密度、高极化率、低电阻率的特征,可引起“三高一低”的综合物探异常。历年来矿区已实施的物探方法包括 1:1 万磁测+重力、高精度重磁扫面及剖面,1:1 万中梯激电、中梯激电剖面、瞬变电磁剖面,1:2 000 重磁剖面测量,CSAMT 方法试验等。上述常规工作方法都存在探测深度较小的问题。

上一轮危机矿山找矿项目曾根据重磁异常特征推断 Y2 岩体与北岩带岩体深部可能相连,经钻探查证,在垂深 700 m 内都是陡倾的单独岩体,互不相连。成果报道中认为:综合分析和研究工作区范围内地质、物探科研成果和地表钻探结果,对工作区的成矿条件和前景作出了评价,提出在没有新的认识和新的技术条件下,工作区地下 700 m 深度范围内,一般不再投入地质勘查工作。这从一个侧面说明深部找矿的难度之大。

前几年针对预测的数个找矿靶区,布设了多个验证钻孔,孔深均在 600 m 以内,未能打到基性岩体和矿体。因此,针对重磁异常查证的钻探工作部署,还需在原有物探工作基础上,选取其他有效的物探方法技术进行综合研究来确定靶区。由于反射地震方法具有探测深度大、分辨率高、探测结果准确可靠等特点,提出了在矿区开展深部金属矿地震勘查试验工作。

2 地震地质条件

测区地层之间主要有三个密度分层,分别为新生界与下伏地层、石炭系与泥盆系、下泥盆统与中泥盆统之间。各类岩石间均有一定的密度差,中基性岩与火山碎屑岩、中酸性岩及沉积岩之间有比较明显的密度差。超基性岩常沿深大断裂分布,整体上表现为高磁、高密度的特征。在这些具有密度差的地层之间,可产生具有一定强度的反射波组。

测区地形起伏不大,在地形隆起地段地表岩石裸露。地下潜水位埋藏较深,在潜水面以上激发,低速层对高频地震波吸收衰减严重。

浅部分布的砾石层不利于钻激发孔。另外,矿区采矿、选矿厂、冶炼厂等各种生产震动噪声对地震勘探数据采集也有较大的影响。

通过在工作区开展背景噪声采集和激发试验,从噪声来源分析可将干扰因素分为:

1) 震源产生的干扰波

井炮炸药震源激发会产生多种干扰波,包括声波、面波、浅层折反射波、浅层反射射波、多次波等。

2) 外界环境噪声

包括各种震动干扰:地面重型车辆、钻机、供水站引起的震动干扰,矿区井下采矿引起的各种震动干扰,工区附近的选矿厂、冶炼厂等矿区生产引起的多种震动干扰。由于地震检波器接收到的振动信号经震—电转换成电信号后,再通过电缆传输到地震仪器被记录下来,因此测区上空高压线、矿区工业电引起的各种电磁干扰也对地震数据质量有一定影响。

开展深部金属矿地震探测工作,在不同的矿区会受到多种不同的震动、电磁等干扰因素的影响。按照噪声在地震剖面上出现的特征,可分为规则噪声(常常等同于相干噪声)和不规则噪声(常常等同于随机噪声)。在数据采集和资料处理阶段,可以采取一些有效的技术措施,拟制部分噪声干扰。但有些随机噪声与有效波的频谱范围相似,有些相干噪声与有效波的视速度相近,增加了去噪处理难度。

3 地震勘探方法

3.1 模型正演试验

金属矿地震勘探中,地震地质条件比较复杂,浅地表地层横向不均匀,地形起伏较大。通过地震地质数值模型正演模拟研究,拟定了采用高密度、高覆盖次数、长排列接收的地震勘探数据采集观测系统。

根据喀拉通克矿区的地质资料,建立了一个二维地震地质数值模型(图2),设定围岩参数 $v_p = 3\,000\text{ m/s}$ 、 $v_s = 2\,200\text{ m/s}$ 、 $\rho = 2.7\text{ g/cm}^3$, Y3 岩体和 Y5-1 岩体参数为 $v_p = 4\,000\text{ m/s}$ 、 $v_s = 2\,800\text{ m/s}$ 、 $\rho = 2.8\text{ g/cm}^3$, Y5-2 岩体参数为 $v_p = 4\,500\text{ m/s}$ 、 $v_s = 3\,200\text{ m/s}$ 、 $\rho = 2.9\text{ g/cm}^3$ 。采用二维波动方程模拟正演技术对模型进行了道间距、排列长度等观测系统的正演模拟研究。

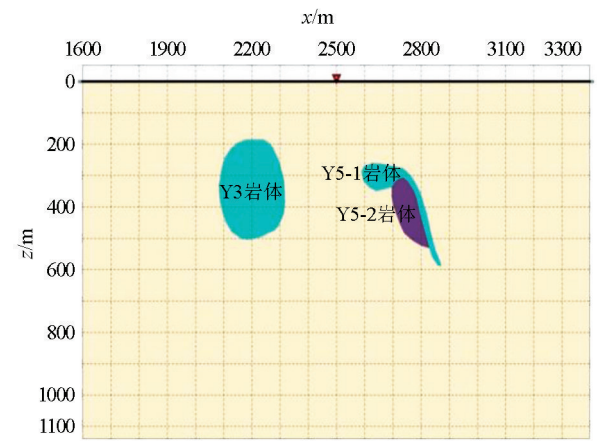
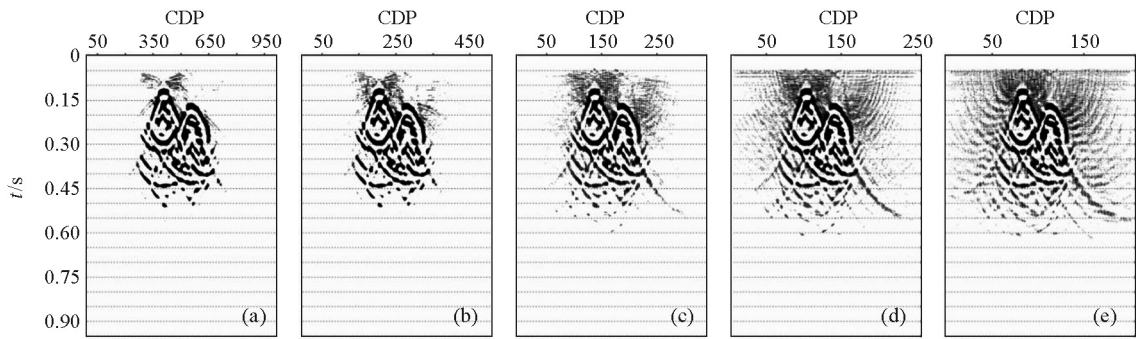


图2 喀拉通克矿区二维地震地质数值模型

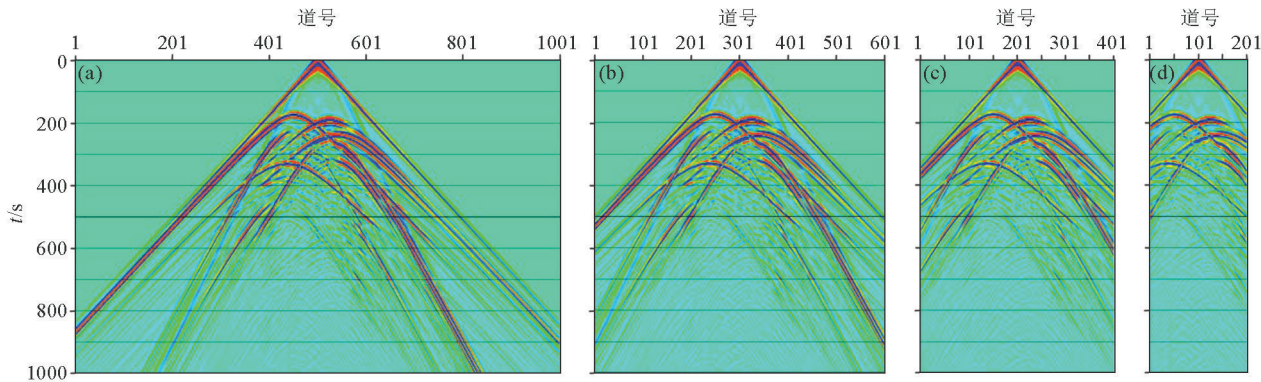
在接收排列长度 3 000 m 固定不变的情况下,分别模拟了道间距为 3、6、9、12、15 m 观测系统采集的正演记录。相对于较大的道间距接收,较小道间距的同相轴连续清晰,不仅有助于减小剩余静校时差和剩余倾角时差,还能改善地震剖面的叠加效果。通过对不同道间距的成像剖面进行偏移处理试验对比(图3),发现道间距越大、空间采样越大,绕射波归位成像的噪声越严重;因此,采用小的道间距、增加空间采样密度,实现对波场的充分、均匀、对称采样,可以降低资料的偏移处理噪声,提高地震剖面的成像质量和精度。

通常情况下,排列长度应近似等于主要目的层的埋藏深度。以图2矿区地质模型为基础,开展了等道间距、不同接收排列长度的正演模拟试验。图4模拟了 5 m 道间距不同排列长度接收的正演记录,对比分析发现:排列长度在 5 km 的情况下,接收了地质模型比较完整的波场信息,绕射波齐全;其中 1 km 排列长度接收到的波场范围最窄,且不利于接收地下倾斜地质体的有效信息;当排列长度为 2~3 km 时,不仅接收到了地质体的有效反射信息,绕射波场也比较连续清晰,利于后期资料偏移归位等精细处理。对于一定的探测深度,采用较小的道间距意味着需采用较多的记录道数;当探测深度较大时,需采用小道间距、超多道采集的地震探测技术。



a—道间距 3 m;b—道间距 6 m;c—道间距 9 m;d—道间距 12 m;e—道间距 15 m

图 3 固定排列长度不同道间距剖面偏移处理效果对比



a—排列长度 5 km;b—排列长度 3 km;c—排列长度 2 km;d—排列长度 1 km

图 4 查干花矿区不同排列长度模拟对比

3.2 数据采集方法

喀拉通克铜镍矿区的地震测线沿北东向部署(图 5),其中 2015KLTK-1 线穿过 Y4 岩体及 Y3 岩体北部,2015KLTK-2 线穿过 Y5 岩体及 Y3 岩体南部,每条测线长度 6 km。

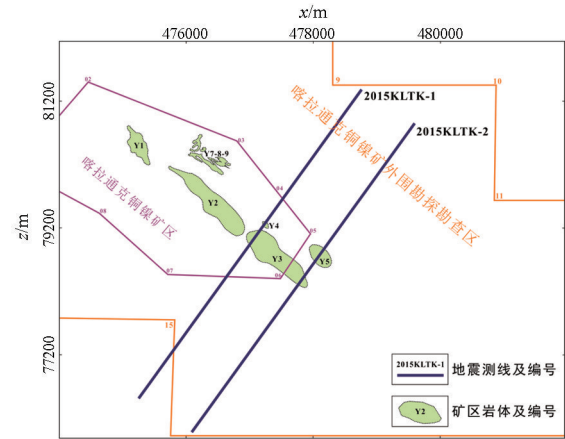


图 5 地震勘查试验测线位置

地震探测方法技术试验采用了小道间距、较小炮间距、长排列接收、高次覆盖的数据采集观测系统。在野外数据采集阶段,为了压制环境噪声、提高地震数据质量,还采取了一些有效措施。

1) 增强震源激发能量

此次地震勘探没有使用大吨位可控震源,而是

采用井炮炸药激发,具有激发时间快、采样时间短的优点,避免了外界干扰能量多次叠加。并通过增大激发药量,增强深层有效反射信息的能量,以达到压制噪声的目的。

2) 检波器点组合接收

金属矿地震探测寻找第二空间目标层的深度范围一般在 500~2 000 m,选用了 EST-20DX 系列的 35 Hz 检波器串,每串 6 个检波器按 2 串 3 并组合接收,进一步提高深部信号能量。

3) 采用中间放炮对称排列接收

在以往二维金属矿地震方法试验中,由于地震仪器接收道数少,数据采集一般采用单边放炮的多次覆盖观测系统,这种观测系统适用于地层起伏变化不大或是倾斜地层下倾方向激发上倾方向接收的数据采集方式。根据此次地震勘探任务的要求,在矿区复杂地质构造条件下,采用了中间放炮对称排列接收的多次覆盖观测系统,在确保深部的探测能力同时,也利于保证中、浅目的层均能达到应有的叠加次数。

4) 提高覆盖次数

在环境干扰较强、地震记录信噪比较低的情况下,高覆盖次数叠加是压制噪声最有效的技术手段。覆盖次数越高压噪效果越好,且有利于提高地震剖

面的信噪比,但是更高的覆盖次数需要更多的勘探成本。

此次在喀拉通克金属矿区开展地震勘探试验采用了先进的 Sercel-428 XL 大型数据采集系统。采用道间距 3 m、炮间距 15 m、长排列 1 040 道接收的中间激发对称观测系统,覆盖次数 104 次。记录参数采用全通频带采集、采样间隔 0.5 ms、记录长度 5 s,当测区工业电干扰严重时,加载 50 Hz 陷波器。通过野外试验确定了激发参数,采用单井激发、井深 10~12 m、药量 8~10 kg。

4 资料处理解释与验证

4.1 数据处理

金属矿区深部的已知资料较少,地质构造比较复杂,地震数据处理解释的难度较大。金属矿区反射地震数据处理解释的基本原则是在提高地震记录信噪比的基础上,提高地震记录的分辨率。

地震资料处理首先定义观测系统,检查覆盖次数、偏移距等参数是否正确,在此基础上完成干扰波分析、球面扩散补偿、地表一致性振幅补偿、道编辑、静校正、地表一致性反褶积、叠前去噪等一系列参数试验及叠前处理。其中最关键的是叠前去噪处理,而叠前去噪的重点是相干噪声的压制。

相干噪声的共同特点是它的空间分布具有规律性,多数情况下比有效信号还更有规律,而且部分相干噪声的视速度、频率特征与有效波的差异不是很明显。无论采用哪种相干噪声压制方法都不可避免地或多或少要伤害到有效信号,因此不宜过量,否则,虽然叠前记录上的相干噪声看起来去得很干净,但叠加结果反而不好。

叠前随机噪声的压制不是必须的。目前野外采集都是多次覆盖,叠加是压制随机噪声的最好办法。对于复杂地区的低信噪比资料,由于有效信号的空间分布缺乏同相性,可能被当做随机噪声而被衰减。如果非做不可,也要适度。如果噪声是随机的,则可以转变去噪思路,不对噪声进行处理,而是根据有效信号的相关性,通过多道拟合去除噪声。

此次地震资料处理主要采用了以下几项有效的叠前去噪处理技术:

- 1) 采用频率域时变带通滤波、带限噪声拟制处理技术,去除甚低频、超高频随机噪声;
- 2) 时变空间二维倾角滤波处理技术,去除面波等低频、低速干扰波;
- 3) 采用时变频率噪声拟制和高能压噪处理技术,

- 去除声波、强能量的随机噪声;
- 4) 采用小波变换和阵列滤波处理技术,去除高速、高频的线性干扰及弧形机械振动干扰噪声等;
- 5) 在 CDP 道集域内采用时变空间二维滤波处理技术进一步去噪,重新进行速度扫描分析;
- 6) 通过动校正和反动校正,再采用时变二维滤波处理技术去除多次折射等线性干扰波;
- 7) 采用线性频率域信号增益处理技术进一步衰减随机干扰。

图 6 表示了对炮集记录进行多项去噪处理试验前、后的对比记录,可以看出,经去噪处理后,地震记录上的噪声得到了极大压制,地震记录的信噪比得到了显著提高。

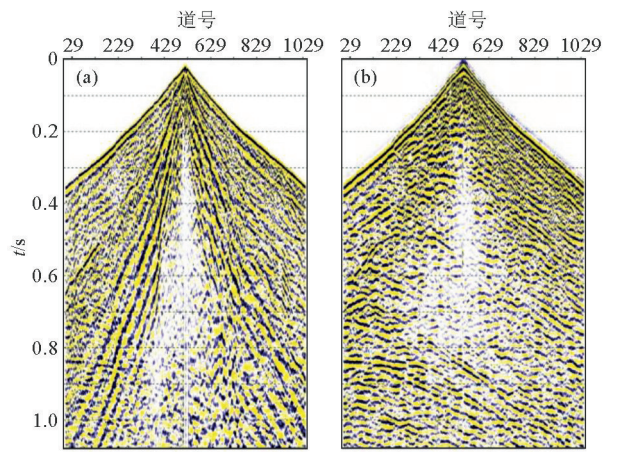


图 6 地震单炮记录去噪前(a)后(b)对比

去噪后的数据体再经过精细速度分析、叠加、叠后去噪及偏移处理,就得到了最终的地震勘探成像剖面。

4.2 资料解释

金属矿地震勘探直接寻找深部矿体比较困难,主要还是针对隐伏岩体、与矿体相关的地层及地质构造等目标体,利用各种地震信息综合分析,结合矿区地质认识及其他地球物理调查成果,开展间接找矿的推断解释。

金属矿地震面临的最大问题,是复杂地质体地震响应特征不是很清楚,识别难度较大,地质体目标描述难。从目前的研究来看,喀拉通克矿区的火山岩地震波场特征表现为:外形特征呈丘状和透镜状,波组特征为内部反射杂乱,瞬时频率表现为低频特征。由于火山喷发的阶段性和规模的差异性,必然产生岩性的多样性和结构的复杂性,致使地震波场特征反应的地质构造具有多样性。

一般情况下,火山岩的速度高于其沉积围岩的速度,其物性存在差异,形成明显的波阻抗差异分

层,就会产生较强振幅的反射波组。因此可将火山岩体与围岩的强振幅反射波组作为其共同的特征。另外,火山岩层的地震反射波组连续性受火山喷发规模和分异堆积的影响,还受岩性分异的影响,在一定范围内表现为反射波组连续或断续:大规模大范围分布的单一结构岩性或熔岩层,表现为连续反射波组;岩性结构变化快、分布范围小,就会出现递变或断续反射波组。

综合分析,推断解释的地质体反射特征主要表现为以下几方面:

- 1)几何形态比较清晰,能够圈定岩体基本边界;岩体底部反射波组清楚,顶部反射波组能量较弱,说明速度与沉积速度相差较小。
- 2)岩体顶部与围岩的反射波组缺失或表现为弱振幅,其余岩体边界与围岩的反射波组表现为强振幅特征,形状呈丘形反应;岩体边界反射波组振幅横向递变,相位局部错动,整体呈波状连续反射。

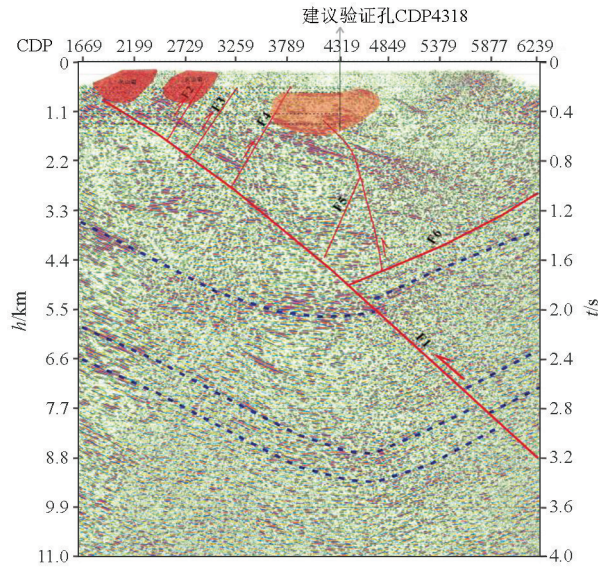


图 7 地震 2015KLTK-1 勘探线解释剖面

在地震剖面浅部,受断裂构造和深部热液岩浆侵入的影响,剖面特征比较复杂。两剖面上部地层受深部断裂 F_1 影响整体倾向 NE,剖面上除深部断层 F_1 倾向 NE 外,其余断层大多倾向 SW,且与 F_1 断层相交。在 2015KLTK-2 地震剖面上,推测解释了一组断层 F_6 ,断层周围地层破碎,使得沿 F_1 断层通道上升的岩浆在该处聚集,形成岩浆房。在该地震剖面上,该岩浆房呈弱反射透明带。

在两地震剖面 SW 端,根据地震剖面上的乱反射特征和叠加速度剖面上的低速异常区,结合矿区重磁资料,该乱反射和低速异常分布区对应测区化极磁力异常垂向一阶导数图上的高磁异常区,且呈现相对高磁异常,据此把该区解释为火山岩分

3)岩体内部为空白和杂乱反射,底部呈准透镜状、断续强振幅反射;含矿地质体内部呈强振幅连续平行反射、或强振幅波状反射结构。

4)与沉积岩反射特征的区别:沉积地层反射波组较连续且稳定,火山岩地层反射波组断续不稳定;沉积地层反射波组呈中弱振幅特征,火山岩地层反射波组大多呈强振幅特征;火山岩反射频率与沉积岩比较相对较低。

根据以上认识,对精细处理后的 2 条地震偏移剖面进行了推断解释(图 7、8)。可以看出,由于测线平行,两条剖面反映出来的构造特征类似,剖面深部反应的地质结构比较简单,为一向斜构造,在 2015KLTK-1 线地震剖面上,即使在断层附近,反射波也没有出现空白带,向斜构造在地震剖面上反映的较完整;而在 2015KLTK-2 线地震剖面上,该向斜构造右翼在断层附近反射波不连续,出现反射空白区,这里把该反射空白区推测解释为岩浆房。

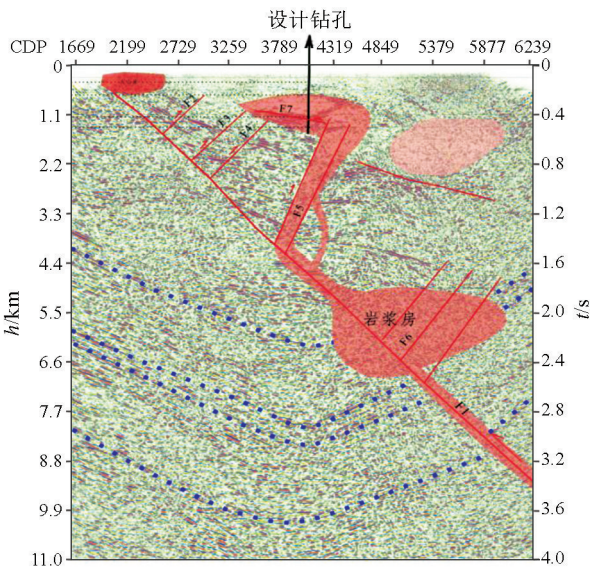


图 8 地震 2015KLTK-2 勘探线解释剖面

布区。

根据地震剖面上的反射特征,在剖面中部解释了岩浆岩体分布区。在 2015KLTK-2 地震剖面上解释的岩体分布区与测区的磁异常、布格重力异常相对应,由于对应该区存在较明显的剩余重力异常,推测在已探明的 Y3 和 Y5 岩体的深部,存在大型的基性岩体,推测岩体顶界面埋深为 650 m、底界面埋深 1 150 m,据此提出了重点钻孔验证井位(如图 9 所示)。而在 2015KLTK-1 地震剖面上解释的岩体分布区仅与测区的布格重力异常相对应,与测区的磁异常不一致,根据矿区资料可知,基性岩体和矿体引起的磁异常强度并不突出。

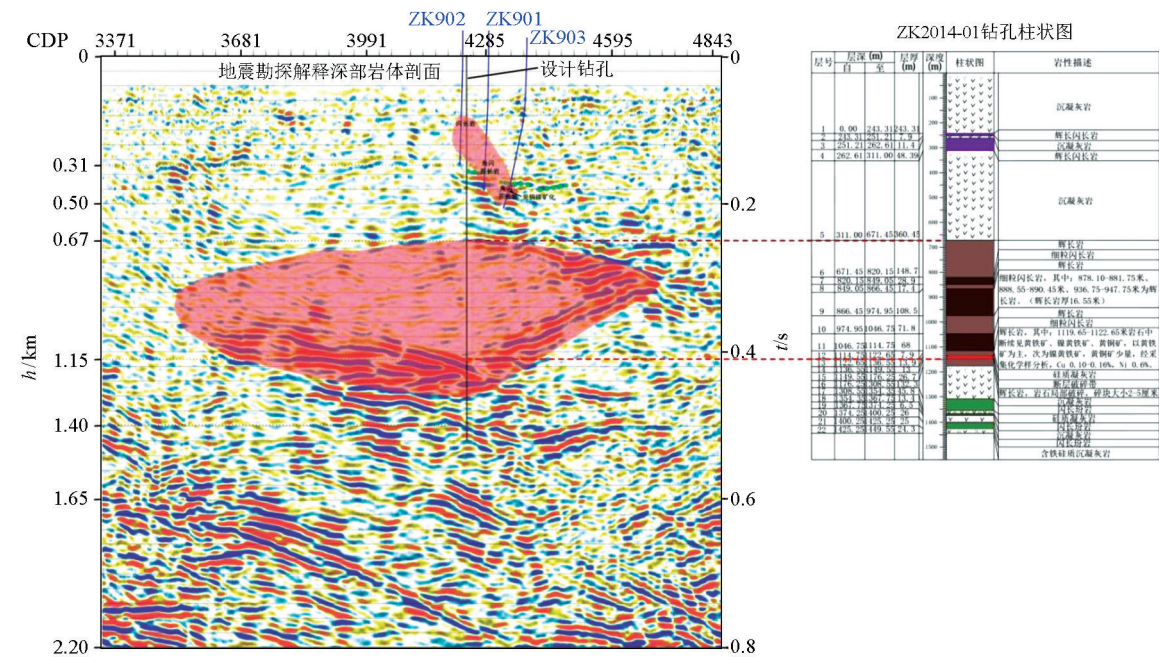


图9 钻孔验证深部隐伏含矿岩体

2015KLTk-2 地震剖面右侧,还分布有一个无反射透明区,在重力异常图上,该反射区没有明显的剩余重力异常,因此,推测该无反射透明区可能为中性或酸性隐伏岩体。该无反射透明区特征在 2015KLTk-1 地震剖面上不明显。

4.3 钻孔验证了深部岩体

根据地震勘查成果,对 2015KLTk-2 地震剖面上设计的孔位进行钻探验证,设计钻孔深度为 1 500 m,实际完成钻探 1 450 m。钻孔揭示的地层如图 9 所示。

根据钻孔揭示的地层埋深,结合 2015KLTk-2 地震剖面,认为第一个岩体的岩性主要为辉长闪长岩,分布在 243~311 m 深度之间,厚度为 56.29 m,中间夹沉凝灰岩,辉长闪长岩是闪长岩向辉长岩过渡的种属,与围岩(沉凝灰岩)之间形成的反射信号难以识别,只能根据岩体内部比较均匀、无明显反射的特征推断该岩体。该岩体为已知的 Y5 岩体,在地震勘探之前,已由矿区浅钻资料揭示,此次部署的深钻验证孔进一步证实了该岩体的存在。

第二个岩体岩性主要为辉长岩和闪长岩,分布在 671.45~1 176.25 m 深度之间,在辉长岩内部,夹有细粒闪长岩,辉长岩厚度约 289 m,细粒闪长岩厚度约 189 m,两者厚度达 478 m。辉长岩为基性侵入岩,密度较高,为含矿母岩,在 1 119.65~1 122.65 m 的辉长岩岩石中断续见黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿,以黄铁矿为主,次为镍黄铁矿,黄铜矿少量,经采集化学样分析,Cu 含量 0.10%~0.16%,Ni 含量 0.6%。

该岩体是本次地震勘探新发现的含矿岩体,对矿区寻找深部隐伏金属矿具有重要意义。

辉长岩与围岩(沉凝灰岩)之间形成的反射信号较强,在地震剖面上能可靠地解释该反射波,据此推断了岩体的顶界面。相对于未破碎的岩层,破碎的岩层对应的速度、密度较低,当破碎岩层厚度较大、且倾角不很大时,该破碎带可形成振幅较强的反射波,由验证钻孔柱状图可知,在 1 136.55~1 149.55 m 深度之间存在一个 13 m 厚的断层破碎带,该断层破碎带形成的反射波在地震剖面上能量较强,位于推测岩体的底部。在地震剖面上,该强反射波组原推测解释为岩体底界面,实际上与钻孔揭示的断层破碎带底界对应一致,证明此次地震探测精度较高。

在 2015KLTk-2 地震剖面上,在第二个岩体以下还分布有一组反射波,解释的该反射界面深度为 1 400 m,钻探揭示在 1 400.25~1 425.25 m 之间有一层厚 25 m 的闪长岩。实际上,在 1 308.55~1 354.35 m 和 1 367.75~1 374.25 m 深度,也存在厚度分别为 45.8 m 和 6.5 m 厚的闪长岩,中间夹有沉凝灰岩,闪长岩与沉凝灰岩之间均可形成弱反射,由于这些反射波的相互干涉,在地震剖面上,形成了一组波组特征十分复杂的复合反射波。该岩体也是本次地震勘探新发现的岩体,但对矿区寻找深部隐伏金属矿意义不大。

5 结论

本次在喀拉通克铜镍矿区开展的地震勘查试验

是深部找矿中的一次大胆尝试,试验取得了较好的地质调查成果。在 Y5 岩体以下新发现了厚度约为 478 m 的辉长岩和闪长岩岩体,在岩体内部 1 119.65 ~1 122.65 m 处存在 3 m 厚的硫化物矿体。在该岩体之下,还分布有一个厚约 77.3 m 的闪长玢岩岩体。新发现的深部隐伏岩体为今后在矿区寻找深部隐伏矿指明了方向。

深部金属矿勘探采用高密点、高覆盖、长排列接收的“两高一长”地震数据采集技术,获得了信噪比较高的成果剖面,有效波组特征清晰,反映的深部地质构造特征明显,钻孔验证结果与地震推断解释基本吻合,说明采用的地震方法技术合理,深部探测成果真实可靠。同时也表明:在厚覆盖区,其他物化探方法探测深度和精度受限的情况下,采用高精度地震方法开展深部金属矿勘查是可行的。

参考文献:

[1] 邓刚,卢鸿飞,杨良哲,等.东天山天宇铜镍矿成矿模式及找矿空间初探[J].新疆有色金属,2012,3:27-31.

[2] 高景华,徐明才,荣立新,等.小热泉子铜矿区地震方法试验研究[J].地质勘探,2004,40(6):47-52.

[3] 梁光河,蔡新平,张宝林,等.浅层地震勘探方法在金矿深部预测中的应用[J].地质与勘探,2001,37(6):29-33.

[4] 吕庆田,韩立国,严加永,等.庐枞矿集区火山气液型铁、硫矿床及控矿构造的反射地震成像[J].岩石学报,2010,26(9):2598-2612.

[5] 秦克章,田野,姚卓森,等.新疆喀拉通克铜镍矿田成矿条件、岩浆通道与成矿潜力分析[J].中国地质,2014,41(3):912-935.

[6] 徐明才,高景华,柴铭涛,等.金属矿地震勘探[M].北京:地质出版社,2009:145-243.

[7] 徐明才,高景华,荣立新,等.从金属矿地震方法的试验效果探讨其应用前景[J].中国地质,2004,31(1):108-112.

[8] 肖骑彬,蔡新平,徐兴旺,等.浅层地震与 MT 联合技术在隐伏金属矿床定位预测中的应用[J].矿床地质,2005,24(6):676-682.

[9] Malehmir A, Urosevic M, Bellefleur G, et al. Seismic methods in mineral exploration and mine planning—Introduction[J]. Geophysics, 2012, 77(5): WC1-WC2.

[10] Malehmir A, Durrheim R, Bellefleur G, et al. Seismic methods in mineral exploration and mine planning: A general overview of past and present case histories and a look into the future[J]. Geophysics, 2012, 77(5): WC173-WC190.

[11] Ursenbach C, Cary P, Perz M. Limits on resolution enhancement for PS data mapped to PP time[J]. The Leading Edge, 2013, 32(1): 64-71.

[12] Eaton D W, Milkereit B, Salisbury M. Seismic methods for deep mineral exploration: Mature technologies adapted to new targets[J]. The Leading Edge, 2003: 580-585.

[13] White D J, Malinowski M. Interpretation of 2D seismic profiles in complex geological terrains: Examples from the Flin Flon mining camp, Canada[J]. Geophysics, 2012, 77(5): WC37-WC46.

[14] Eaton D W, Milkereit B, Salisbury M H. Seismic methods for deep mineral exploration: mature technologies adapted to new targets[J]. The Leading Edge, 2003, 22(6): 580-585.

[15] Koivisto E, Malehmir A, Heikkinen P, et al. 2D reflection seismic investigations at the Kevitsa Ni-Cu-PGE deposit, northern Finland[J]. Geophysics, 2012, 77(5): 149-162.

[16] Bellefleur G, Müller C, Snyder D, et al. Downhole seismic imaging of a massive sulfide orebody with mode-converted waves[J]. Geophysics, 2004, 69(2): 318-329.

The application of seismic exploration technology in the Kalatongke orefield

LIU Jian-Xun¹, ZHOU Jian-Yong^{1,2}, XU Ming-Cai¹, WANG Xiao-Jiang¹, ZHANG Bao-Wei¹, LI Pei¹, ZHANG Kai¹, WANG Kai¹, GAO Jing-Hua¹, WANG Guang-Ke¹, CHAI Ming-Tao¹, RONG Li-Xin¹

(1. Institute of Geophysical & Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China; 2. China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Currently, deep mineralization has become an important object of mineral exploration. The deep mineralization is characterized by deep burial depth, weak mineralization and a low level of synthetic geological study. Such a situation influences to some extent the application of geophysical technology, and causes more difficulties in the exploration of deep mineral deposits. Seismic method for metallic ore exploration is a new and promising technique, which has such merits as great detecting depth and high detection accuracy. This exploration technology was applied to deep prospecting in the Kalatongke Cu-Ni deposit of Xinjiang, with the emphasis placed on the suppression of the background noise in data acquisition and processing. During the field seismic exploration, the acquisition method included such means as a large explosive excitation, a small detector spacing and higher stacking fold. The technique achieved good detection results, with some of the results verified by drilling.

Key words: deep prospecting; seismic exploration; acquisition technology; prestack noise suppressing