

# 重震联合解释技术在新疆罗布泊罗北凹地西部的应用

明圆圆,李秋辰,牛雪,谢兴隆,郭淑君

(中国地质调查局水文地质环境地质调查中心,保定,071051)

**摘要:**对库鲁克塔格山前隐伏断陷盆地进行了1/5万的区域重力勘探和5 500 m长的地震剖面测量。抽取与地震同测线的重力剖面,通过重力资料反演得出该断陷盆地第四系最大埋深在1 800 m以上,扩大了寻找钾盐的深度范围;采用Oasis Montaj平台下的重磁模拟解释系统GM-SYS,参考地震资料建立反演初始模型,利用地质资料及LDK01井测得的岩性参数作为约束条件进行重震联合反演解释。对罗北凹地西部第四系地层、基底及断裂有了进一步的认识,减少了重力反演深层构造界面的多解性,为罗布泊深部钾盐资源勘探提供了新的参考。

**关键词:**重震联合反演;地层结构;罗布泊;钾盐

**中图分类号:** P631.443

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-4135(2021)01-0052-04

钾盐作为我国重要矿产之一,一直是我国急缺矿产的重要组成部分<sup>[1]</sup>。目前我国主要的钾盐矿以地表富钾卤水矿产为主<sup>[2-3]</sup>,主要的卤水钾盐矿位于青海的察尔汗盐湖以及罗布泊罗北凹地,由于长期开采,导致卤水中钾盐品位降低,两个钾盐主产区面临资源短缺局面,两大钾盐主产区寻找钾盐第二空间<sup>[4]</sup>,向深部探索。目前针对钾盐的深部地层勘探包括重磁电震等多种方法。钾盐矿产与周围地层存在明显的密度差,使得探测深度大、成本相对低、效率高的重力勘探越来越多应用到钾盐勘探中<sup>[5-11]</sup>,但同时重力勘探对深部地层以及构造界面具有多解性<sup>[12-16]</sup>。

罗北超大型钾盐矿床处于罗布泊北部罗北凹地第四系沉积地层中,为一大型含钾卤水矿床<sup>[17]</sup>。孟贵祥等<sup>[17]</sup>2009年首次将重力方法引入到罗布泊钾盐勘探中,研究表明罗布泊深部地层(200~1 000 m)可能存在一个更老的蒸发沉积旋回,主要沉积中心和浓缩中心位于罗布泊西部,分布面积和地层厚度均较大,具有良好的成钾潜力与找矿空间<sup>[2]</sup>。本次将重力勘探剖面AB部署在罗北凹地的西部地区,同时部署了一条地震剖面A1B(图1)进行重震联合反演。由于工作条件限制,对罗布泊深部重点区域的钾盐地震勘探线较短,探测深度有限,而重力勘探覆盖面广,但垂向分辨较低,重震联合反演可以弥补重力

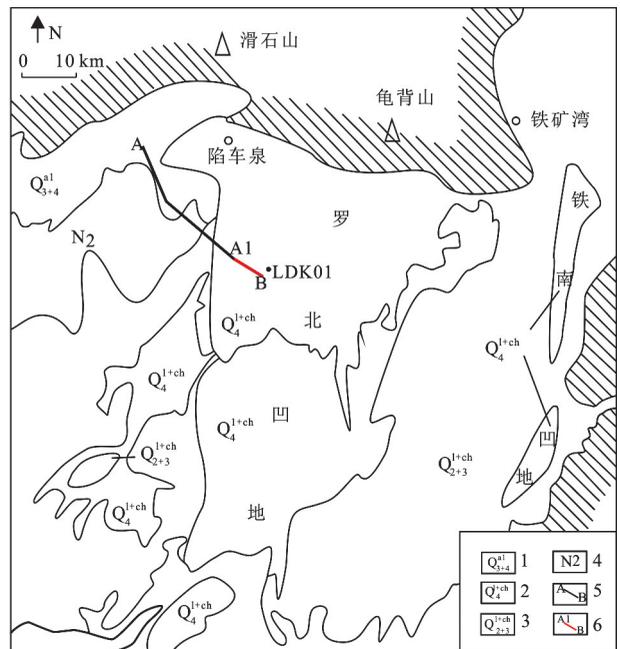


图1 罗布泊盐湖区域地质及重震剖面位置示意图

Fig.1 Regional geology in Lop Nur Lake and the location of gravity profile and seismic profile

1.全新统冲积;2.全新统湖积化学沉积;3.上、中更新统湖积、化学沉积;4.上第三系;5.重力剖面位置;6.地震测线位置

资料和地震资料的缺陷。因此本文利用已有地质资料以及地震解释资料<sup>[18-24]</sup>作为约束条件,对罗北凹地深部找钾重点区域北部的库鲁克塔格山前断陷盆地进行了重震联合反演<sup>[25]</sup>,对罗北凹地西部第四纪地

收稿日期:2020-11-12

资助项目:中国地质调查局项目“雄安新区深部三维地质结构探测(DD20189630)”

作者简介:明圆圆(1987-),女,工程师,硕士研究生,毕业于吉林大学,现从事地球物理勘探工作, E-mail:myy632508138@163.com。

层、基底及断裂有更进一步的的认识。

## 1 盆地结构探测

地震与重力勘探线位置见图1,实测数据经各项改正后得到布格重力异常,异常曲线见图2红色实线所示,异常整体呈高-低-高走势。结合图1所示测线位置,异常值由剖面西北向东南一直下降,在8.5 km处达到最低,而后呈上升趋势。测区属库鲁克塔格山前断陷盆地地貌,盆地内主要为湖相沉积的粉细砂、亚粘土、泥岩及化学沉积物,地表被第四系全新统覆盖。根据异常整体特征,推断该重力剖面穿过整个沉积盆地,异常值最低处为第四系松散物堆积最厚的地方,即沉积盆地中心。

科钾1井(LDK01井)作为罗布泊深部钾盐找矿钻井,是迄今为止罗布泊地区最深的钾盐科探井,终孔深度为781.50 m<sup>[2]</sup>,位于本次工作东部(图1)。以收集到的钻井密度资料 and 对应井深作为已知条件,对第四系沉积盆地基底进行约束反演及正演拟合(图2)。剖面西北部存在一明显凹陷区域,其第四系中心沉积厚度接近2 000 m。表明该区域堆积了巨厚的第四系沉积物,形成在一定深度上封闭的次级盆地,推断其为寻找隐伏钾盐矿的有利区域<sup>[26]</sup>。

## 2 重震联合反演

由于位场反演本身固有的多解性和实际地质情况的复杂性,单一方法反演解释具有较大难度,因此

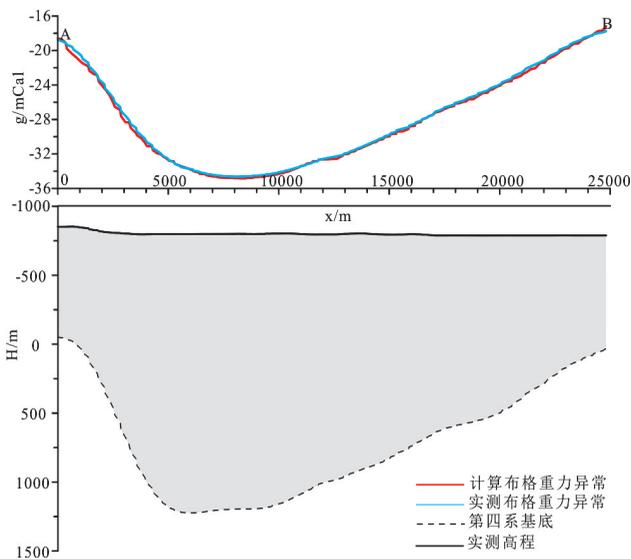


图2 重力异常第四系基底反演与正演拟合图

Fig.2 Quaternary basement inversion and forward fitting of gravity anomaly

重震联合反演有助于提高反演解释结果的可靠性。

### 2.1 工作方法

重震联合反演解释是在GM-SYS重磁拟合软件平台上实现的,该软件平台的最大优点是可以方便地加载地震剖面、钻井资料及实测重磁数据,在地震解释的基础上,通过重磁建模拟合实测重磁数据进行各种物探资料的联合反演解释<sup>[26]</sup>。

本文利用该平台对重力剖面进行精细联合、约束及人机交互反演,求出剖面通过地段的第四系地质断面,进而研究断陷盆地内主要地层的宏观分布规律、构造特征及盆地与周边构造单元的接触关系,为寻找深部隐伏钾盐矿床的有利地段提供依据<sup>[27]</sup>。

### 2.2 重震联合反演

重力剖面总长度为24 500 m(图2),地震剖面总长度为5 500 m(图3、图4)。

反演流程如下:(1)根据地震时间剖面,拾取 $Q_1$ - $Q_4$ 界面深度及断层位置信息(图4)。(2)在GM-SYS重磁拟合软件中加载实测重力剖面 and 由基底反演解译出的第四系基底深度,根据地震剖面确定的地震反射波阻特征建立起描述第四系各地层底界分布特征的地层结构模型,并结合LDK01井物性参数(表1),输入各组地层平均密度。(3)输入地层平均密度后会正演出该套地层的理论重力异常,与实测异常相比会有较大差异。通过修改、校正待解释层初始模型的底界角点坐标、形态、深度等,计算机实时正演拟合理论重力异常曲线,反复将该理论重力异常曲线与实测异常曲线进行对比,当两者基本拟合时,即可认为所设计的待解释层模型较好地反映了地下地质结构和地层物性特征<sup>[26]</sup>。

### 2.3 联合反演解释成果

利用该部分浅层地震可靠解释成果做约束条件,以地质资料和LDK01井获取物性参数为依据,参考基底反演得出的第四系基底埋深,给出了最终解释结果(图4),主要包括以下几个方面。

#### 2.3.1 地层结构

根据地震反射波同相轴和LDK01井综合柱状图,将第四系地层分为四段:全新统( $Q_4$ )、上更新统( $Q_3$ )、中更新统( $Q_2$ )、下更新统( $Q_1$ )(图4)。结合地震资料和钻孔资料可知, $Q_4$ 全新统主要地层为钙芒硝层及淤泥层,少见白钠镁矾层,平均密度 $2.16 \text{ g/cm}^3$ ;  $Q_3$ 上更新统地层主要为钙芒硝含卤水钾矿层,其次为淤泥粘土层,少见砂砾层和白钠镁矾层,平均密度

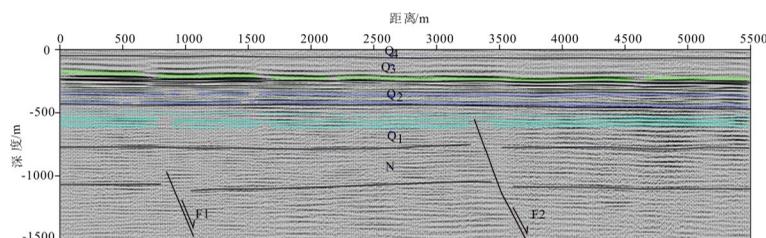


图3 DZ01地震解译结果

Fig.3 Seismicinterpretation results of DZ01

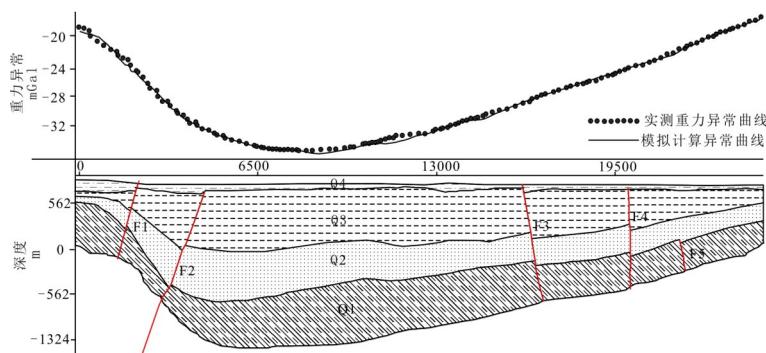


图4 重震联合反演解译成果图

Fig.4 Joint inversioninterpretation result of gravity and seismic profile

表1 LDK01井岩性密度统计表

Table 1 Lithologic density statistics of well LDK01

序号	地层	深度/m	平均密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
1	全新统(Q <sub>4</sub> )	53	2.16
2	上更新统(Q <sub>3</sub> )	226	2.26
3	中更新统(Q <sub>2</sub> )	448	2.11
4	下更新统(Q <sub>1</sub> )	781.5	2.13

2.3 g/cm<sup>3</sup>; Q<sub>2</sub>中更新统地层主要为砂砾层和粘性土泥砂层,见少数钙芒硝层,平均密度2.22 g/cm<sup>3</sup>; Q<sub>1</sub>下更新统地层为淤泥粘性土层和砂砾石层,密度2.07~2.12 g/cm<sup>3</sup>。研究表明,罗北凹地卤水钾盐矿床主要赋存在Q<sub>3</sub>和Q<sub>4</sub>层位中<sup>[1]</sup>。根据解译出的地层模型,将Q<sub>3</sub>和Q<sub>4</sub>沉积较厚的区域作为卤水钾盐赋存区域,为卤水钾盐矿床的寻找提供依据。

### 2.3.2 地质构造

该区域推断5条正断层,分别命名为F1、F2、F3、F4、F5,构造方向为北东向。其中F4断裂与前人解译的罗北西2号断陷带<sup>[28]</sup>的东边界重合。根据地面地质调查发现,该断裂下盘出露地表地层为上更新统的一套化学沉积地层,形成了雅丹地貌,上盘为全新统的化学沉积地层,故该断裂形成于上更新世以后。同时早更新世晚期以来,区域构造应力转变为北东-南西<sup>[29]</sup>。F2断裂和F3断裂共同控制,形成了罗北凹地次级断陷盆地,为第四系埋深最大区域。

### 2.3.3 储层特征

罗布泊罗北凹地超大型钾盐矿床储藏于第四系钙芒硝岩中,后续的研究发现,罗布泊盐湖存在地堑式断陷带<sup>[30]</sup>,这些断陷带具有明显的储卤特征。推断F1-F5为控制成钾凹地、储集富钾卤水、张性断裂控制的地堑式断陷带。

## 3 结论

(1)以收集到的钻井密度资料和对应井深作为已知条件,通过基底约束反演得出该地区第四系沉积盆地最大埋深在1800 m以上,扩大了寻找钾盐的深度范围。

(2)通过对罗北凹地西部重震剖面联合反演,查明了测区0~1000 m深度范围内的地层结构和断裂构造展布情况,从地层结构、地质构造、储层特征三个方面对

第四系地层、基底及断裂有了进一步的认识,为罗布泊固液相钾盐资源评价提供了新的解释依据。

(3)地震勘探测线较短,研究范围有限,重力勘探覆盖面广,但垂向分辨率较低,重震联合反演可以弥补重力资料和地震资料的缺陷,有效地发挥重力、地震勘探手段各自的技术优势,使各种资料相互补充、验证,使解释的地质成果更加趋近实际地质。

### 参考文献:

- [1] 王弭力,刘成林,焦鹏程.罗布泊盐湖钾盐矿床调查科研进展与开发现状[J].地质论评,2006,52(6):757-764.
- [2] 韩建明.新疆罗布泊铁湾硝酸盐矿床沉积特征及氮源研究[D].中国地质科学院,2006.
- [3] 王弭力,刘成林,焦鹏程.罗布泊盐湖钾盐矿床调查科研进展与开发现状[J].地质论评,2006,52(6):757-764.
- [4] 焦鹏程,刘成林,颜辉,等.新疆罗布泊盐湖深部钾盐找矿新进展[J].地质学报,2014,88(6):1011-1024.
- [5] 刘瓔,郑绵平,于常青,等.高精度重力在勐野井盐构造与钾盐勘探中的研究与应用[J].地质论评,2015,61(1):349-350.
- [6] 肖锋.重力数据处理方法的研究及其在钾盐矿勘探中的应用[D].长春:吉林大学,2009.
- [7] 郇恒飞.重力数据综合处理与解释在钾盐矿区的应用研究[D].长春:吉林大学,2013.
- [8] 赵国兴.老挝万象地区钾盐矿重力数据处理与解释[D].长春:吉林大学,2017.
- [9] 陈曦.重力数据处理与解释在刚果(布)奎卢省布谷马西

- 钾盐矿区的应用[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [10] 李霖. 重力资料处理技术在老挝钾盐矿勘探中的应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [11] 高铁. 重力数据处理方法在钾盐矿寻找中的应用[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
- [12] 郑洪伟, 孟令顺, 贺日政. 青藏高原布格重力异常匹配滤波分析及其构造意义[J]. 中国地质, 2010, 37(4):995-1001.
- [13] 耿涛, 刘宽厚, 田黔宁, 等. 柴达木西缘地区存在一组北北西-南南东向断裂构造的重力场证据[J]. 中国地质, 2013, 40(4):1066-1078.
- [14] 荣幸. 重磁资料在准格尔旗地区地质构造解释中的应用[J]. 地质调查与研究, 2019, 42(04):315-320.
- [15] 高伊航, 沈军辉, 苏永军, 等. 重力调查在潍坊滨海区划分断裂和构造单元中的应用[J]. 地质调查与研究, 2019, 42(01):72-76.
- [16] 刘良志, 路利春, 姜鸿, 等. 西藏罗布莎地区重磁场特征与地质解释[J]. 地质调查与研究, 2018, 41(03):204-212.
- [17] 孟贵祥, 严加永, 吕庆田, 等. 罗布泊盐湖盆地结构新发现及找钾意义[J]. 矿床地质, 2010, (4):32-38.
- [18] 符伟, 侯贺晟, 张交东, 等. 松科二井邻域沙河子组含油气地层结构特征—基于测井和地震数据的分析[J]. 中国地质, 2019, 46(5):1052-1060.
- [19] 康晓倩, 冯暄, 侯贺晟, 等. 松辽盆地北部石炭-二叠纪地层厚度:来自深反射地震的证据[J]. 中国地质, 2019, 46(5):1116-1125.
- [20] 国瑞, 侯贺晟, 符伟, 等. 松科二井深地震反射数据Q值分析及其对含气层位的确定[J]. 中国地质, 2019, 46(5):1137-1145.
- [21] 王冠, 熊小松, 高锐, 等. 花海盆地深地震反射剖面的最佳采集参数实验和分析[J]. 中国地质, 2019, 46(5):1146-1160.
- [22] 张永谦, 徐晓, 严加永, 等. 华南东南部地壳厚度、属性及其与成矿的关系:基于地震接收函数的约束[J]. 中国地质, 2019, 46(4):723-736.
- [23] 于常青, 杨文采, 李学良, 等. 塔里木盆地深反射地震资料处理[J]. 中国地质, 2011, 38(4):1061-1065.
- [24] 黄科辉, 张亚峰. 二维地震构造解译法在霍西煤田郑家寨普查区中的应用[J]. 地质调查与研究, 2019, 42(01):64-71.
- [25] 袁惟正, 徐新忠, 雷江锁, 等. 大别山地震波速度剖面的重力拟合及花岗岩带[J]. 中国地质, 2003, 30(3):235-239.
- [26] 牛雪, 明圆圆, 李秋辰, 等. 基于重力勘探成果的罗北凹地深部钾盐盆地沉积特征[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(26):83-87.
- [27] 汪在君, 唐金生, 郑桂英. 重磁—地震联合反演解释技术在大杨树盆地深层构造研究中的应用[J]. 中国石油勘探, 2007, 12(1):54-59.
- [28] 王喜臣, 贾建秀, 徐宝慈. 羌塘盆地综合地球物理剖面的模拟解释[J]. 世界地质, 2008, 27(1):76-82.
- [29] 刘成林, 王弭力, 焦鹏程, 等. 罗布泊盐湖钾盐矿床分布规律及控制因素分析[J]. 地球学报, 2009, 30(6):796-802.
- [30] 施伟, 田蜜, 马寅生, 等. 罗布泊盆地新构造变形数值模拟分析[J]. 地质力学学报, 2011, 17(3):223-231.

## Application of joint interpretation of gravity and seismic in west Luobei depression of Lop Nur

MING Yuan-yuan, SUN Sheng, NIU Xue, LI Qiu-chen, XIE Xing-long

(Center for Hydrogeology and Environmental Geology Survey, CGS, Baoding Hebei 710065, China)

**Abstract:**The 1 / 50 000 regional gravity exploration and 5 500 m long seismic profile survey have been carried out in the Kuruktag Piedmont buried fault basin. The maximum buried depth of Quaternary System in the fault basin is more than 1 800 m by gravity data inversion, which expands the depth range of looking for potash. The gravity and magnetic simulation interpretation GM-SYS system under Oasis Montaj platform is used to establish the initial inversion model with reference to seismic data. The geological data and LDK01 are used to establish the initial inversion model. The lithologic parameters measured by the well are used as constraint conditions for the joint inversion interpretation of gravity and earthquake. Further understanding of the Quaternary strata, basement and faults in the west of Luobei depression reduces the multi solution of deep structural interface in gravity inversion, which provides a new reference for the exploration of deep potash resources in Lop Nur.

**Key words:** joint inversion interpretation of gravity and seismic; stratigraphy structure; Lop Nur; potash