

罗布泊盐湖盆地结构新发现及找钾意义^{*}

孟贵祥¹, 严加永¹, 吕庆田¹, 焦鹏程¹, 颜 辉², 刘传福², 刘成林¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 新疆国投罗布泊钾盐公司, 新疆 哈密 839110)

摘 要 首次将重力探测技术引入到罗布泊盐湖盆地结构及钾盐勘探中, 通过对重力资料的处理和反演, 发现罗布泊盆地北部地区由南北两个局部次级盆地(凹地)组成。南盆地第四系沉积厚度小于或近于 300 m, 北盆地则为库鲁克塔格山前隐伏断陷凹地的次级延伸, 其中心第四系沉积层厚度大于 700 m, 山前主盆地——库鲁克塔格山前隐伏断陷凹地的中心埋深大于 1 200 m。同时在罗北凹地内还发现了 8~9 条相间分布的断裂构造, 认为这是控制成钾凹地、储集富钾卤水、张性断裂控制的地堑式断裂带。在对罗布泊盐湖盆地结构新发现的基础上, 圈定了罗布泊北部找钾远景靶区, 初步确定了寻找深部钾盐矿床的探索孔位, 并提出了深部隐伏钾盐矿勘探的方法技术组合。

关键词 地球物理; 罗北凹地; 盆地结构; 罗布泊; 钾盐矿床

中图分类号: P619.21⁺1; P631

文献标志码: A

New discovery of Lop Nur salt basin structure and its significance for potash deposit exploration

MENG GuiXiang¹, YAN JianYong¹, LU QingTian¹, JIAO PengCheng¹, YAN Hui², LIU ChuanFu²
and LIU ChengLing¹

(1 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 SDIC Xinjiang Luobupo Potash Co. Ltd., Hami 839110, Xingjiang, China)

Abstract

Gravity exploration method was employed for the first time in the study of the Lop Nur salt lake basin structure and the exploration of potash resources. Based on processing and inversion of gravity data, the authors have found that northern depressions of the Lop Nur salt lake are composed of two local sub-depressions arrayed from south to north. The southern depression is only a sub-depression of the main depression located in the southeast of the Lop Nur salt lake and formed in the late period, with its Quaternary sediments equal to or less than 300 m. The northern depression is a sub-depression buried off Kuruktag piedmont, with the Quaternary sediments at the center more than 700 m. The center of the northern depression of the Lop Nur salt lake (Kuruktag piedmont depression) is deeper than 1 200 m. 8~9 interval fault structures were found in the northern depression of the Lop Nur salt lake basin by geophysical exploration. The authors consider that these faults are graben-type faults which controlled the migration of potassium into canyons, reservoir K-rich brine and tensile fracture-controlled faults. On the basis of new discovery of the Lop Nur salt lake basin, the authors delineated several long-term targets for potash deposit exploration and determined drill hole locations in search for deep potash resources. The combination of exploration methods in prospecting for deep concealed potash resources is

^{*} 本文得到罗布泊后备钾盐项目(罗布泊钾盐公司项目)及中国地质科学院矿产资源研究所基本科研业务费项目(k0725)的联合资助
第一作者简介 孟贵祥,男,1968年生,博士,高级工程师,主要从事金属矿产资源勘查和研究工作。Email:mgx1w@126.com
收稿日期 2010-03-22;改回日期 2010-05-22。张绮玲编辑。

also put forward in this paper.

Key words: geophysics, northern Lop lake basin, basin structure, Lop Nur, potash deposit

钾盐严重短缺已威胁到中国资源安全并制约了农业发展,因此,钾盐矿产的找矿勘探研究已成为中国紧缺矿种资源勘查的重要目标之一(戴自希,1994;刘成林等,2006;郑绵平等,2006;林耀庭,1998;林耀庭等,2007)。随着找矿难度的加大和深部找矿的需要,急需查明控制钾盐矿形成的深部结构,由于应用地球物理勘探技术具有探测深度大的特点,近年来,该方法逐渐受到钾盐找矿研究的重视,国内也陆续有这方面的报道(许厚泽等,1994;钱光华等,1987;吴慧山等,1997;焦鹏程等,2005;王弼力等,2006;张瑞江,2007),内容涉及矿床远景靶区的确定和隐伏矿体的定位两个主要方面。本研究在研究分析前人工作成果的基础上,在罗布泊北部地区开展了高精度重力测量,并对区域重力资料进行二次开发,对盆地结构进行探测和分析,取得了一些新的发现和认识,在此基础上,探讨了找矿远景区(靶区)预测和隐伏矿床(体)定位的相关技术方法组合。

1 地质背景与矿床特征

罗布泊地区地处新疆塔里木盆地的东部,是塔里木盆地各河流的最终汇聚地。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(王弼力等,1997,2001)(图1)。

罗北凹地为一新生的断陷盆地,连续分布 $Q_1 \sim Q_4$ 沉积地层,表层全新统 Q_4 为蒸发作用所形成的盐壳(0~1 m),出现钾盐镁矾、光卤石等;上更新统 Q_3 、中更新统 Q_2 ,岩性主要为钙芒硝、石膏,夹有杂卤石等矿物,呈互层结构(王弼力等,2001)。下更新统 Q_1 与上覆 Q_2 呈角度不整合接触,上部为一套以化学沉积为主的钙芒硝、石膏层等,夹泥岩薄层,呈互层状结构;下部为洪积砂砾石、含砾中粗砂等,未见底(赵振宏等,2002)。

罗布泊东北部在第四纪初已为咸水环境,到中更新世中晚期演化为盐湖环境。罗布泊在早-中更新世为塔里木大湖泊的一部分,受新构造运动的影响,早更新世早期东北部先抬升并经历多期次构造抬升,将其逐渐分隔成一系列次级成盐成钾盆地,罗北凹地是其中的一个。罗北凹地卤水主要由塔里木

盆地地表水补给,经蒸发浓缩而形成,区域背景钾元素含量较高是由于地表水还淋滤了盆地周边第三系以及更老时代地层中的盐类组分。由于罗北凹地封闭性较好,可接受主体湖水周期性上涨补给,最终汇集了大量钾元素而形成钾矿(王弼力等,1997)。

罗北凹地卤水钾盐矿床主要赋存在 Q_3 和 Q_4 层位中,有一个潜卤层和多层承压卤层构成。浅部潜卤水矿层面积达 1 300 km²,钻探控制最大深度为 210.5 m,其中已揭穿的承压卤水层最大厚度 24.98 m,最小厚度 3.8 m,累计厚 84.2 m。储卤层岩石成分以钙芒硝为主,石膏及石盐为次。潜卤层卤水的 $w(KCl)$ 在 0.92%~1.83% 之间,平均 1.52%,承压层卤水 $w(KCl)$ 为 1.40%,卤水水化学类型属硫酸镁亚型(王弼力等,2001)。

2 罗布泊北部地区的盆地结构探测及找钾意义

纵观罗布泊钾盐勘探历程(王弼力等,2001),钾盐找矿勘探经历了科学考察、区域调查、异常查证、找矿突破与大规模勘探等 4 个主要阶段(王弼力等,2006)。大规模勘探主要集中在罗北凹地的浅部(最大控制深度 234 m),目前已经探明为一超大型的钾盐矿床(王弼力等,2001)。今后扩大找矿勘查的方向主要是罗北凹地的深部和外围,关键的技术问题是如何有效地确定凹地深部的赋矿地层厚度,以及在矿区外围如何确定新的具有找矿远景的成钾构造。根据赋存盐类矿产的第四系沉积凹地相对基底围岩表现为明显的低密度特征,本研究认为重力勘探是现阶段解决这些问题的主要探测手段之一。本次研究区为罗布泊北部地区即罗北地区(含罗北凹地,相当于罗北南盆地)(图1)。

2.1 探测方法

高精度重力勘探设备使用美国高精度的拉格斯-罗姆博格(LaCoste-Romberg)全测程 G 型金属弹簧重力仪。剖面布置测量设备使用美国 Trimble 公司的 GPS Trimble 5800,控制点由经过国家三角点联测实际孔位坐标来控制测线上各点的坐标。野外实际重力布格异常观测精度小于 $\pm 40 \mu\text{Gal}$,测地定位精度小于 $\pm 10 \text{ cm}$,高程误差小于 $\pm 20 \text{ cm}$ 。

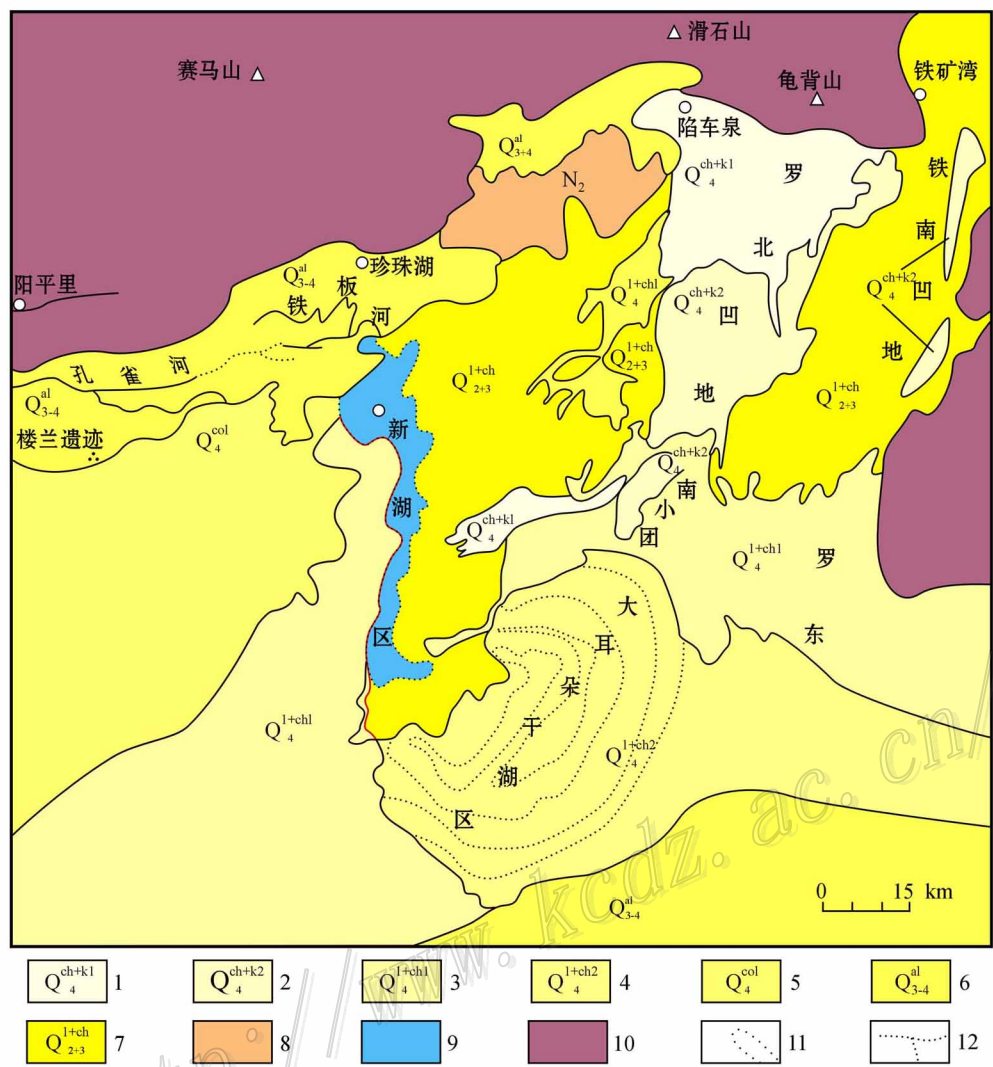


图 1 罗布泊地区地质简图(据刘成林等,1999 修编)

1—全新统下段含钾化学沉积; 2—全新统上段含钾化学沉积; 3—全新统下段湖相及化学沉积; 4—全新统上段湖相及化学沉积; 5—全新统风成沉积; 6—上更新统和全新统洪积; 7—中更新统及上更新统湖相及化学沉积; 8—第三系; 9—新湖区; 10—前第三系; 11—湖水退缩线; 12—河流水系

Fig. 1 Geological sketch map of the Lop Nur Lake, Xinjiang (modified after Liu et al., 1999)

1—Lower Holocene K-bearing chemical sediments; 2—Upper Holocene K-bearing chemical sediments; 3—Lower Holocene lacustrine and chemical sediments; 4—Upper Holocene lacustrine and chemical sediments; 5—Holocene eolian sediments; 6—Upper Pleistocene and Holocene diluvia; 7—Middle and Upper Pleistocene lacustrine and chemical sediments; 8—Tertiary; 9—Late lake (new lake); 10—Pre-Tertiary; 11—Retrogradation line indicated by remote-sensing image; 12—River system.

具体剖面布置如图 2 所示,剖面方向为北西—东南向,主要结合已有的地质勘探普查孔位及区域地质构造线方向等综合因素布置剖面。实际剖面长为 36.8 km,剖面起点位于南东雅丹台地,北西端接近库鲁克塔格山前。

2.2 盆地结构探测结果

矿区高精度重力 A-A' 剖面测量结果如图 3 所

示,从实测重力布格曲线看,异常由南东向北西方向总体呈降低的趋势,显示剖面南东部为一相对较浅的沉积盆地(罗南盆地),而剖面的北西端进入一较深的沉积盆地(新发现罗北盆地)中心,此西“盆地”的划分主要基于基底形态和重力异常(见图 3、图 4),地表没有显示。在剖面的中部为一明显的基底隆起区,为具体了解重力剖面所反映的第四系沉积

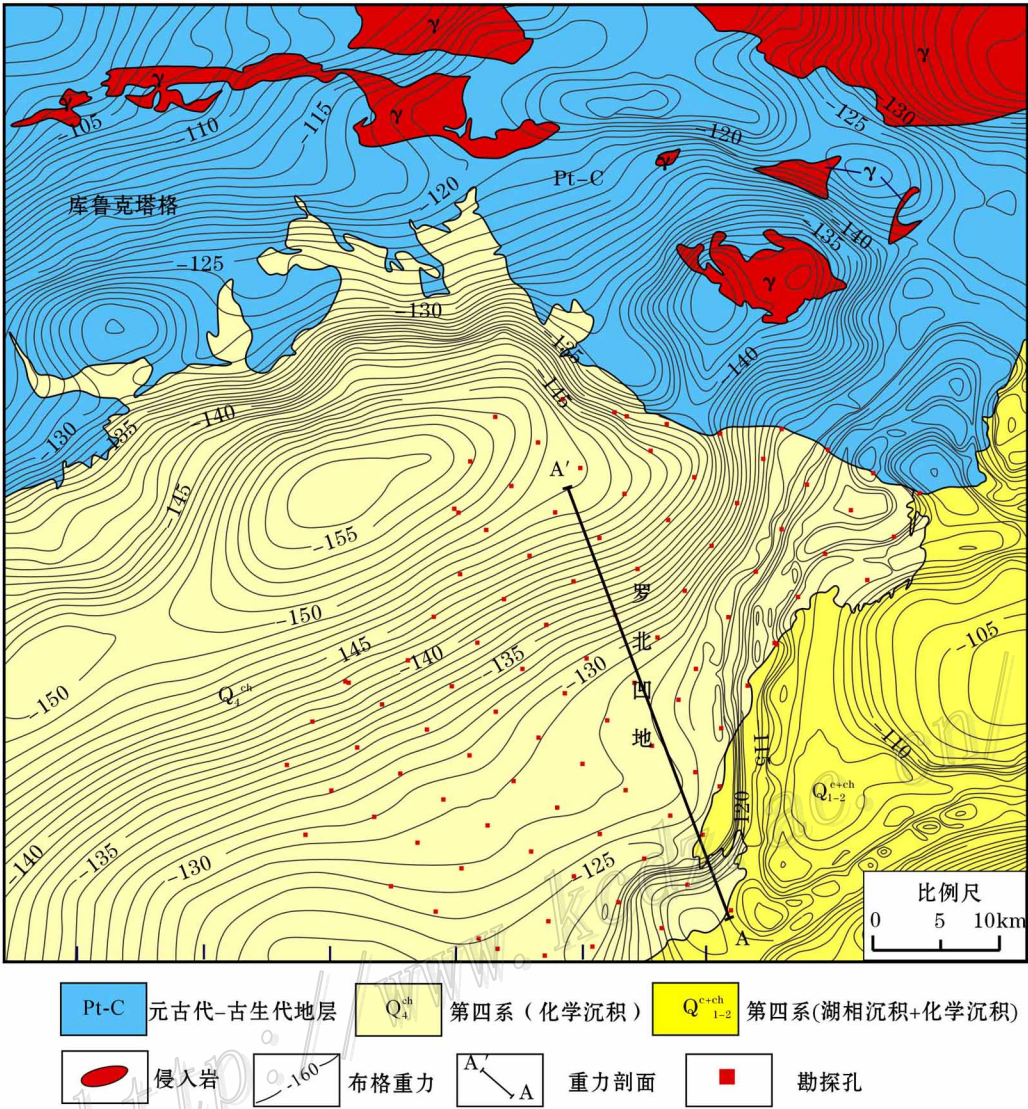


图 2 罗北地区地质、区域布格重力异常、勘探井及 A-A' 剖面位置综合图

Fig. 2 Geology, regional Bouguer gravity anomalies, exploration wells and A-A' profile location of northern Lop Nur Lake area

层厚度,依据区域岩(矿)石密度,结合矿区已有的部分钻孔信息(赵振宏等,2002),取第四系沉积层密度为 $1.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,基底密度 $2.67 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ (曾华霖,2005);对第四系与基底的界面进行了反演(图 3),其结果显示,在剖面东南部存在一厚度小于 300 m 的局部凹陷,也是目前罗北凹地钾盐矿赋存的主要区段,可称为罗北南盆地。剖面北西部为本次勘探新发现的具有较大沉积厚度的罗北北盆地,剖面上第四系沉积层中心厚度大于 700 m。

以基底起伏或第四系沉积层厚度为研究目标体,重力剖面反演成果提供了更多的矿区及外围的深部找矿信息。在罗北南盆地,由于基底埋深小于

300 m,找深部隐伏矿的空间不大,深部勘探探索性钻孔不易在该盆地中布置。在矿区外围新发现的罗北北盆地第四系沉积厚度较大,可作为第四系沉积层深部找钾提供验证区段。

值得注意的是,在罗北南盆地测量段,布格重力异常曲线在盆地中部呈现明显的波浪起伏,重力值由高至低的突变揭示了在罗北凹地内局部存在一系列(8~9 条)相间分布的断裂构造,其倾向向东。这与在矿区通过卫星影像、地貌与连续电导率成像等分析及地质综合研究在罗北凹地发现的控制成钾凹地、储集富钾卤水、张性断裂控制的地堑式断裂带分布基本吻合(Liu et al., 2006)。该信息显示,利用大

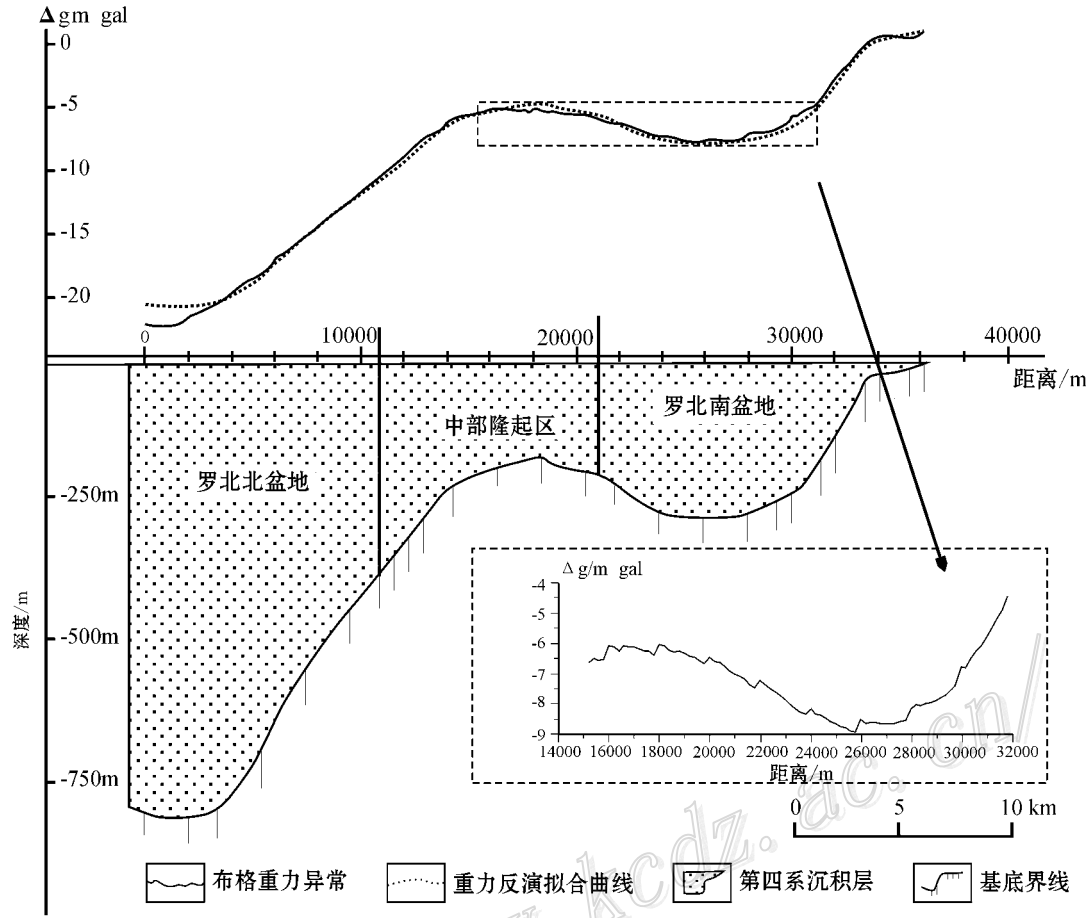


图 3 罗布泊盐湖 A-A' 剖面重力异常反演及第四系基底结构图

Fig. 3 Gravity anomalies of A-A' profile and quaternary basement structure map of the Lop Nur Salt Lake

比例尺的面积性高精度重力勘探可以提供盆地内局部有断裂控制的富钾卤水区段,可以为进一步确定隐伏矿体的赋存部位提供详细的构造信息,这对在盆地内寻找隐伏矿体具有重要指示意义。

2.3 盆地结构新认识及找钾远景靶区

分析区域布格重力异常等值线成果(图 2),可以发现本区区域地质构造线走向总体呈现北东-南西向,研究区中部所展现的北东向巨大宽缓的重力梯度带代表了本区主体构造线方向,但在罗北凹地东侧局部发育有近南北向呈窄带状的重力梯级带,由北部的北北东向在矿区东侧转为近南北向延伸,并在南部发生错断弯曲、向西偏移后又向南部延伸,显示局部发育有近南北向的断裂构造,罗北凹地由北东向和南北向 2 组主体构造控制。从已有的勘探钻孔位分布也可以看出,目前的罗北凹地钾盐矿区主要位于上述两条梯级带南、北两侧的重力低值区,即目前罗北凹地由南、北 2 个局部次凹地组成,推测

南凹地为一后期形成的浅部次级沉积凹地,凹地中心大致位于 A-A' 剖面的西南部。

从图 2 可以看出,在罗北钾盐勘探区西部、中部宽缓重力梯级带西侧、库鲁克塔格山前,有一北东向范围较大的局部重力低异常区,从地貌上看,该异常处于库鲁克塔格山前台地,北东—南西长近 30 km,北西—南东宽大于 10 km,推测重力低异常区是早期的汇水盆地的中心,即库鲁克塔格山前断陷盆地(图 4)堆积了巨厚的第四系沉积物,形成在一定深度上封闭的局部盆地。

从罗北地区布格重力图(图 2 及图 4)中可见,重力测量新发现的罗北北盆地为相对较浅并由库鲁克塔格山前断陷盆地向北东方向延伸的次级盆地,盆地中心位于罗北勘探区北部,推测中心第四系沉积层厚度大于 800 m。后期受地表水流改道,库鲁克塔格山前断陷盆地和罗北北盆地均被覆盖,在东南部形成新的沉积中心——罗北南盆地。库鲁克塔格断

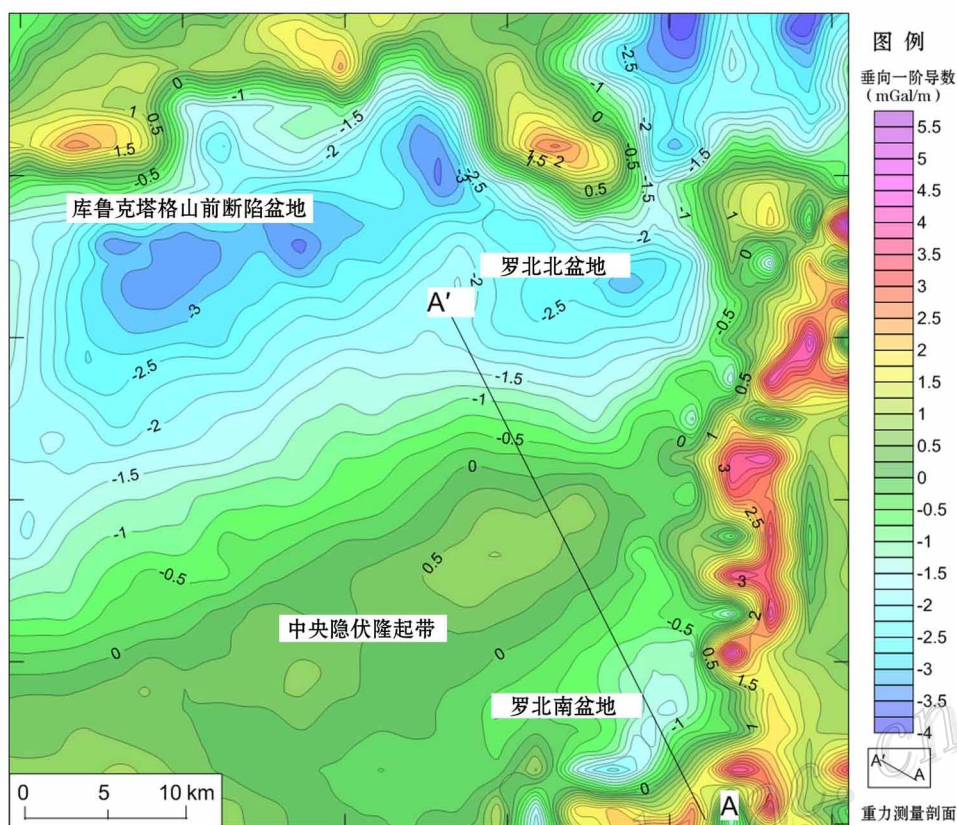


图 4 罗北地区布格重力垂向一次导数异常图
(据新疆 1:20 万大平台幅布格重力异常图数字化后计算所得)
Fig. 4 Vertical derivative of Bouguer gravity of northern Lop Nur Lake
(digitized from 1:200 000 Bouguer gravity anomaly map of Dapingtai sheet)

陷主沉降区异常中心可能就是本研究区内最主要的巨厚第四系沉降(断陷)盆地中心,高精度重力勘探剖面北西端仅进入了库鲁克塔格断陷主沉降盆地的向北东延伸的一个次级盆地(罗北北盆地)边部,依据剖面反演结果及相应布格重力负异常幅值强度类比,可大致推测库鲁克塔格山前断陷盆地沉降中心第四系沉积厚度大于1 200 m。在其南东侧已发现有超大型罗北钾盐矿(罗北凹地钾矿),预测该盆地及北东延伸的罗北北(盆地)为一钾盐矿床深部隐伏矿找矿的有利靶区。

3 讨论与结论

通过对罗布泊北部地区高精度重力剖面勘探成果和区域重力资料的分析,发现其主沉积区位于罗北凹地西侧、库鲁克塔格山前巨厚断陷盆地(沉积层厚度大于1 200 m),而罗北地区由南、北2个次级盆地组成,南盆地宽缓、第四系沉积层厚度较小(小于

或近于300 m),仅为后期发展的次级盆地之一。北盆地较深,第四系沉积层厚度大于700 m,为库鲁克塔格山前断陷盆地向北东方向延伸的次级盆地。结合地质分析,预测库鲁克塔格山前断陷盆地和罗北北盆地为进一步寻找深部隐伏钾盐矿床的重要靶区(图4)。

从罗北凹地钾盐找矿的勘探经验看,矿区发育了一系列的成矿期后断裂系,形成了局部断陷带和相对凸起带呈相间分布的格局,从而形成了许多相对封闭的汇集卤水的条带形地段(Liu et al., 2006)。对新发现的位于库鲁克塔格山前重力低异常(推断为断陷巨厚沉积盆地)的进一步勘探,同样需要考虑后期构造运动对隐伏矿体(层)的影响。通过本次高精度剖面测量,也显示了大比例尺度测量同样可以提供局部断裂构造的信息。借鉴以往中国在同类矿床勘探中的经验,特别是近年来在老挝万象平原进行的钾盐勘探地球物理探测技术,建议使用重力和电磁测深联合勘探的手段探索深部隐伏矿床和进行

矿体的定位研究,可为进一步的钻探工程提供依据。

志 谢 野外工作得到国投罗钾公司领导的大力支持和协助,王弼力研究员对重力测量和地质解释的热心指导,白大明研究员对文章提出了许多有益的建议,在此一并表示衷心感谢。

References

- Dai Z X. 1994. Prospecting approaches and tactics of lacking mineral resources of China[J]. *Earth Sciene Frontiers*, 1(3-4): 222-228(in Chinese with English abstract).
- Jiao P C, Liu C L, Bai D M, Wang M L and Chen Y Z. 2005. Application of self-potential technique to the exploration of potassium-rich brine in Lop Nur, Xinjiang[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 26(4): 381-385(in Chinese with English abstract).
- Lin Y T and Chen S L. 2007. An Effective Approach to Accelerate Potash Search in China -Search for Potash Deposits during Oil and Gas Exploration[J]. *Journal of Salt lake Research*, 15(3): 1-6(in Chinese with English abstract).
- Lin Y T. 1998. Reflections on the potash resources[J]. *Geology in China*, 9(sum. 256): 43-44(in Chinese with English abstract).
- Liu C L, Wang M L and Jiao P C. 1999. Hydrogen, oxygen, strontium and sulfur isotopic geochemistry and potash-forming material sources of Lop salt lake, Xinjing[J]. *Mineral Deposits*, 18(3): 268-275(in Chinese with English abstract).
- Liu C L, Wang M L, Jiao P C and Chen Y Z. 2006. The exploration experiences of potash deposits in the world and probing of countermeasures of China's future potash-deposits investigation[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 28(1): 1-8(in Chinese with English abstract).
- Liu C L, Wang M L, Jiao P C, Li S D and Chen Y Z. 2006. Features and formation mechanism of faults and potash-forming effect in the Lop Nur Salt Lake. Xinjiang, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(6): 936-943.
- Qian G H and Zhou C X. 1987. The application of seismic data to potash prospecting[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2: 139-142(in Chinese with English abstract).
- Wang M L, Liu C L, Yang Z C, Jiao P C and Fan W D. 1997. Characteristics and causes discussion of Lop Nur lake large potassium deposit [J]. *Geologica Review*, 43(3): 249(in Chinese with English abstract).
- Wang M L and Liu C L. 2001. Sylvite resources in Lop Nur salt lake[M]. Beijing: Geol. Pub. House(in Chinese with English abstract).
- Wang M L, Liu C L and Jiao P C. 2006. Investigation and scientific research progress and exploitation present situation of Lop Nur salty lake potash deposits, Xinjiang, China[J]. *Geologica Review*, 52(6): 757-764(in Chinese with English abstract).
- Wang Q M. 2006. Geological Survey of China Basin Mine research history [J]. *Salt Researching History*, 2: 57-60(in Chinese with English abstract).
- Wu H S and Tan C L. 1997. Several new advances in nuclear geophysical exploration in China[J]. *Acta Geophysica Sinica*, 40(Supp): 317-325(in Chinese with English abstract).
- Xu H Z, Wang Q S and Chen Y H. The progress of the gravity survey and research in China[J]. *Acta Geophysica Sinica*, 37(Supp. 1): 339-352(in Chinese with English abstract).
- Zeng H L. 2005. Gravity field and gravity exploration[M]. Beijing: Geol. Pub. House(in Chinese with English abstract).
- Zhang R J. 2007. The application of radar technique to the prospecting for salt mineral resources[J]. *Remote Sensing for Forland & Resources*, 74(4): 111-113(in Chinese with English abstract).
- Zhao Z H, Hou G C, Cai Q Q, Chang Z Y and Gu X L. 2002. Quaternary geological setting of mineralization of kalium bitter deposits in Lopnor region[J]. *Xinjiang Geology*, 20(3): 210-213(in Chinese with English abstract).
- Zheng M P, Qi W and Zhang Y S. 2006. Present situation of potash resources and direction of potash search in China[J]. *Geological Bulletin of China*, 25(11): 1240-1246(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 戴自希. 1994. 我国某些急缺矿产找矿突破的可能途径和对策[J]. *地质前缘*, 1(3-4): 222-228.
- 焦鹏程,刘成林,白大明,王弼力,陈永志. 2005. 应用自然电场法寻找地下富钾卤水的探讨[J]. *地球学报*, 26(4): 381-385.
- 林耀庭. 1998. 关于钾盐资源问题的思考[J]. *中国地质*, 9(sum. 256): 43-44. 写期数
- 林耀庭,陈绍兰. 2007. 油气勘查中兼找钾矿是加速我国找钾工作的有效途径[J]. *盐湖研究*, 15(3): 1-6.
- 刘成林,王弼力,焦鹏程. 1999. 新疆罗布泊盐湖氢氧锶硫同位素地球化学及钾矿成矿物质来源[J]. *矿床地质*, 18(3): 268-275.
- 刘成林,王弼力,焦鹏程,陈永志. 2006. 世界主要古代钾盐找矿实践与中国找钾对策[J]. *化工矿产地质*, 28(1): 1-8.
- 钱光华,周长祥. 1987. 地震资料在钾盐找矿工作中的应用[J]. *物探与化探*, 2: 139-142.
- 王弼力,刘成林,杨智琛,焦鹏程,樊卫东. 1997. 罗布泊罗北凹地特大型钾矿床特征及其成因初探[J]. *地质论评*, 43(3): 249.
- 王弼力,刘成林. 2001. 罗布泊盐湖钾盐资源[M]. 北京:地质出版社.
- 王弼力,刘成林,焦鹏程. 2006. 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*, 52(6): 757-764.
- 王清民. 2006. 我国盆矿地质勘查研究简史[J]. *盐业史研究*, 2: 57-60.
- 吴慧山,谈成龙. 1997. 我国核地球物理勘查的若干新进展[J]. *地球物理学报*, 40(增刊): 317-325.
- 许厚泽,王谦身,陈益慧. 1994. 中国重力测量与研究进展[J]. *地球物理学报*, 37(增刊 1): 339-352.
- 张瑞江. 2007. 雷达技术在盐类矿产找矿中的应用[J]. *国土资源遥感*, 74(4): 111-113.
- 赵振宏,侯光才,蔡青勤,常志勇,顾新鲁. 2002. 罗布泊钾卤水矿床成矿地质背景[J]. *新疆地质*, 20(3): 210-213
- 曾华霖. 2005. 重力场与重力勘探[M]. 北京:地质出版社.
- 郑绵平,齐文,张永生. 2006. 中国钾盐地质资源现状与找钾方向初步分析[J]. *地质通报*, 25(11): 1240-1246.