

罗布泊盐湖钾盐矿床分布规律及控制因素分析

刘成林, 王弭力, 焦鹏程, 陈永志

中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037

摘要: 罗布泊盐湖位于塔里木盆地东部, 是世界最大第四纪干盐湖之一。自中更新世以来, 罗布泊北部受到新构造运动影响, 一方面, 发生抬升活动; 另一方面, 产生地堑式断裂及次级盆地(凹地)。调查发现罗布泊的次级凹地及断陷带内蕴藏有钾盐矿床, 主要是卤水钾盐矿床; 这些钾盐矿床(或成钾凹地)的分布具有方向性和一定等间距性。罗布泊卤水钾矿, 除在罗北凹地外, 在其外围的较小凹地内也有分布, 表现为“卫星式”分布模式; 而在地堑式断裂带延伸的范围区内也出现卤水, 其分布表现为“含水墙”状模式。固体钾盐沉积于罗北凹地中心区及外围断陷带内, 其形态与展布方向也受到地堑式断裂控制, 其沉积模式有“浓缩中心式”和“构造洼地式”两种, 前者钾盐沉积区面积均较大, 钾矿面积占凹地面积近 1/4, 而后者沉积区面积很小, 钾盐沉积基本分布于整个洼地内; 固体钾盐分布区形态主要呈“条带状”模式, 其长宽比值平均为 3.58。除了构造应力作用外, 罗布泊凹陷的几何形态、面积与补给来源方向等亦对罗布泊钾盐矿床的分布有一定影响作用。掌握罗布泊钾盐矿床的分布规律及控制因素, 对于古代钾盐勘查具有重要参考价值。

关键词: 罗布泊; 盐湖; 钾盐; 分布模式

中图分类号: P611.42; P619.211 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2009)06-796-07

The Probing of Regularity and Controlling Factors of Potash Deposits Distribution in Lop Nur Salt Lake, Xinjiang

LIU Cheng-lin, WANG Mi-li, JIAO Peng-cheng, CHEN Yong-zhi

MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

Abstract: Lop Nur Salt Lake is located in the eastern part of Tarim Basin, Xinjiang in northwest of China, and is one of the largest playas in the World during Quaternary period. Since middle Pleistocene epoch, being influenced by neotectonic activities, the most parts of the northern of Lop Nur Lake had started to rise, and the mean while the graben-faults and hollows occurred in some parts of the northern area. The investigations show the hollows and faulting belts hold potash deposits, most being brine potash deposits. These potash deposits are distributed according to some oriental and iso-distance interval. The distribution pattern of potash deposits may be called “satellite type”, for that Luobei hollow potash deposit is the largest one, and there are some small ones which are distributed around it. In the graben-faulting belts brine commonly occur vertically and horizontally, this is called “water-bearing wall” model. The potash-mineral depositing areas are in the inner of hollows and faulting belts, their shapes and trends are controlled by the graben-faults. The solid potash deposition may be divided into two kinds of models, one is the “evaporating and concentrating type” in that the area of potash minerals distribution occupies quarter of the hollow in area, and the other is “tectonic hollow type” in that the potash may nearly occupy the whole late tectonic-hollow area. The shapes of the potash-mineral depositing areas are usually strip, or called “ore strip” model, the ratios of length vs. width are basically stable, averagely 3.58. Except for the tectonic stress, the shape and area of Lop Nur Lake and river-supplying directions also play an important effect on the distribution

本文由国家自然科学基金重点项目(编号 40830420)资助。

收稿日期: 2009-06-04; 改回日期: 2009-09-15。

第一作者简介: 刘成林, 男, 1963 年生。研究员, 博士生导师。主要从事钾盐及盐湖沉积学等研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。电话: 010-68999067。E-mail: liuchengl@263.net。

of potash deposits. Understanding of the regularity and controlling factors of potash deposits distribution is significant for exploring of the solid potash deposits buried in ancient strata.

Key words: Lop Nur; salt lake; potash deposits; distribution models

0 前言

罗布泊位于新疆(塔里木盆地)东部(图 1), 为第四纪干盐湖, 可以划分为北部区(即钙芒硝沉积区, 包括罗北次级凹地等及其两侧抬升区)、南部大耳朵湖区以及西部新湖区三大块(图 2)。自 1995 年发现罗布泊超大型钾盐矿床以来(王弭力等, 1996, 1998, 2001), 对该钾盐矿的成因认识, 已从地质构造背景与盆地演变、沉积作用、卤水流体运动与地球化学等方面进行研究, 提出了多种成因解释, 例如, “高山深盆迁移”论和“两段式”成钾论(Wang Mili et al, 2005)和“深部上升卤水流体补给成钾”(刘成林等, 2003); 研究发现罗布泊盐湖存在地堑式断裂带, 不仅控制成钾凹地的形成(Liu Cheng-lin et al, 2006), 其本身也储集卤水。由于罗布泊是中国继柴达木盆地钾盐矿聚集区之后另一个钾盐成矿聚集区, 并与柴达木盐湖沉积属于不同成因类型, 因此, 总结研究罗布泊钾盐矿床的空间分布规律, 探讨其控制影响因素, 对于罗布泊卤水钾盐矿的开采、扩大寻找后备资源及古代钾盐找矿具有重要现实意义。

1 矿床特征

罗布泊钾盐矿主要赋存于卤水中, 属于液体矿床。同时, 含盐系地层中也分布一定规模的钾盐矿物, 主要为杂卤石, 其次为钾盐镁矾、杂硝矾及光卤石等, 构成厚度数 cm 至 2 m 的含钾层, 具有一定资源规模和潜在的开采价值。

1.1 卤水钾矿特征

卤水钾矿主要分布于罗北凹地, 根据 ETM 卫星影像分析, 其面积达 1411 km², 是一个“北深南浅”的箕状盆地, 中更新世中-晚期以来成为罗布泊凹陷沉降最深的次级凹地(刘成林等, 1999), 其含矿地层主要为中、上更新统和全新统。卤水矿层结构特征是一个潜水层和五个主要承压层, 呈似层状和偏透镜状产出, 埋深从 1 m 至 150 m。卤水储集层岩石主要为钙芒硝岩, 罗北凹地卤水 KCl 平均品位 1.40%(王弭力等, 2001); 按瓦里亚什科(1965)的分类方案, 罗北凹地卤水水化学类型为硫酸镁亚型。罗北凹地潜卤水层平均孔隙度 28%, 承压层平均 14%, 储卤层厚度 64 m, 蕴藏有 2.5 亿吨氯化钾资源

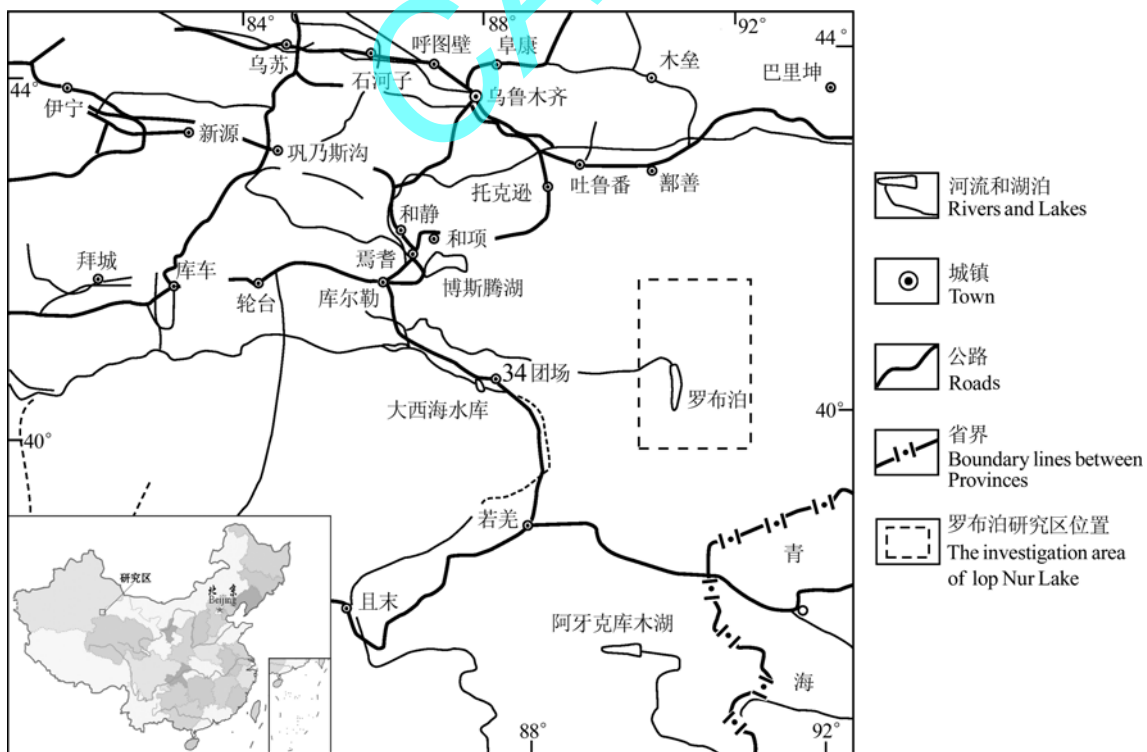


图 1 罗布泊地理位置
Fig. 1 The location of Lop Nur Lake

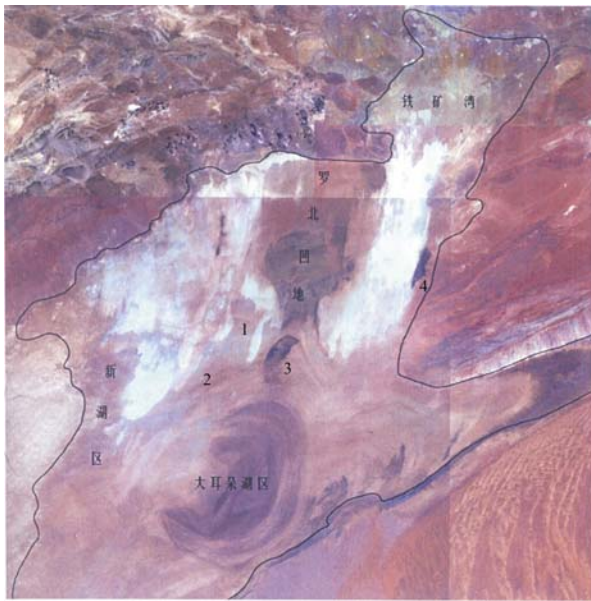


图2 罗布泊盐湖卫星合成影像图

Fig. 2 Satellite remote map of Lop Nur Salt Lake

1-罗西洼地; 2-耳北凹地; 3-罗中洼地; 4-铁南洼地

1-Luoxi hollow; 2-Erbei hollow; 3-Luozhong area; 4-Tienan hollow

(王弭力等, 1998, 2001)。在罗北凹地外围还分布有一些较小的次级凹地、洼地及断裂带, 它们也储集了一定规模的卤水钾盐资源。

1.2 固体钾盐特征

罗布泊盐湖地层中还产有少量的固体钾盐, 虽然, 品位较低、矿层较薄, 目前可能不具备单独工业利用价值, 但是研究其分布规律具有理论意义。

固体钾盐矿物主要有杂卤石 ($K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$)、钾盐镁矾 ($KMgSO_4Cl \cdot 3H_2O$), 其次为光卤石 ($KMgCl_3 \cdot 6H_2O$)、钾石盐 (KCl) 和杂硝矾 ($Na_7K_3Mg_2(SO_4)_6(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) 等。

杂卤石主要呈薄层状分布于罗北凹地(王弭力等, 2001; 刘成林等, 2008);

钾盐镁矾, 主要产于罗中地区(也称南小团)及铁南凹地等地, 从地表~0.5 m 深(王弭力等, 2001), 光卤石出现于铁南凹地等。

2 卤水钾矿分布特征

2.1 卤水钾矿区的几何形态特征

卤水矿区的形态特征参数见表 1, 钾矿区或凹地, 受到两组不同方向的断裂构造控制大致呈棋盘格状分布, 形态多为“方格状-长方形”。矿床长宽比值分别是: 罗北凹地为 1.76, 罗西洼地为 1.52, 耳北凹地 1.75, 铁南凹地 2.67。除铁南凹地外, 前三者面积较大, 形态相似, 其长宽比值也相近, 平均为 1.68; 而铁南凹地面积小, 基本属于盆地边缘断裂

表 1 主要卤水矿区几何形态特征参数

Table 1 The shape characteristics of brine potash deposits

序号	凹地名称	形态	长度 (km)	宽度 (km)	长宽比值	面积 (km ²)
1	罗北凹地	葫芦状	60	34	1.76	1411
2	罗西凹地	方块形	14	9.2	1.52	100
3	铁南凹地	扁豆状	18	6	2.67	42
4	耳北凹地	菱形	28	16	1.75	290
	合计					1843

注: 数据根据 ETM2002 合成影像分析求得得到。

带, 尚未拉分形成较大规模的凹地, 因此, 其长宽比不具代表性。

统计显示, 罗布泊干盐湖的卤水矿区面积共计 1843 km², 而盐湖区总面积为 18494 km², 卤水矿区面积占盐湖区面积约 10%。

2.2 钾矿床的空间分布特征

由图 3 可见, 罗布泊盐湖区的钾矿床分布特征是以罗北凹地为中心, 外围还有一些小的成钾凹地分布, 例如罗中(固体钾盐矿点)、罗西、耳北、铁南等, 这种分布模式符合“卫星式”模式特征(刘群等, 1987), 这种发布模式揭示出超大型矿床周边还分布有一系列中小型矿床或矿化区。

2.3 卤水矿的垂向分布特征

调查发现, 罗布泊地堑式断裂可以成为良好的

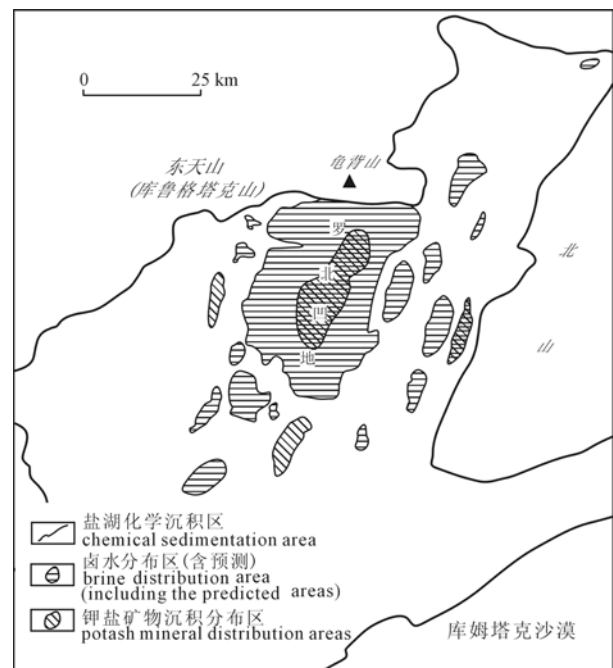


图3 罗布泊钾盐矿集区-“卫星式”结构分布示意图

Fig. 3 The satellite-pattern distribution of the potash-deposits gathering area in Lop Nur Playa

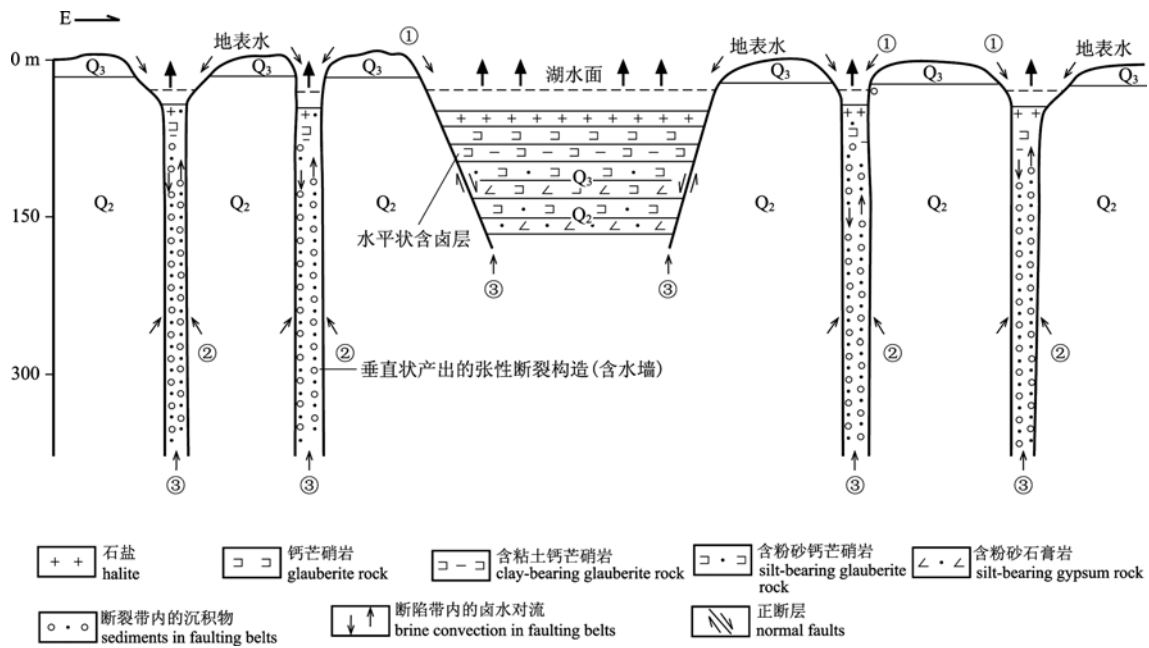


图 4 罗布泊盐湖“含水墙”成钾模式示意图

Fig. 4 The illustration map of “brine-bearing wall” model for the potash formation in Lop Nur Salt Lake

储卤构造, 同样可以形成一定规模的钾盐矿床。

在罗布泊盐湖演化过程中, 由于湖水和洪水顺着断裂带补给, 断裂带内出现较小规模的洼地或盐湖, 湖水蒸发浓缩形成卤水, 上部卤水比重加大, 沿张性断裂逐渐向下部流动或渗透; 同时, 深部地层水, 因断裂带破碎减压, 地层静压力影响向其汇集, 来自山区的深循环大气降水也向断裂带汇集, 第四系含盐卤层也可以补给。由于表层卤水不断蒸发浓缩, 比重不断增加, 使重卤水下沉, 而轻卤上移; 经过长期循环对流, 造成下部卤水比重高于上部, 钻孔卤水氯化钾品位也向下逐渐增加, 到达工业品位, 并高于浅部卤水, 呈“下高上低”的态势, 这与盐湖逐渐浓缩析盐顺序不一致。因此, 如果在较深部发现碎屑层储集有卤水资源, 其钾品位也可能比浅部卤水高。

根据区域构造特征分析与 EH-4 测量 (Liu Cheng-lin et al, 2006), 这些断裂带延长深度大, 可达 1000 米, 并具有一定宽度, 形成含卤断裂带, 可称为“含水墙”成钾模式(图 4)。根据上述认识, 提出罗布泊深部地层应该成为罗布泊盐湖钾盐资源扩大找矿的新方向。

3 固体钾盐分布特征

在罗布泊盐湖, 含钾盐矿物沉积分布区的几何形态多呈“条带”状, 呈 NE10°向展布, 例如, 罗北凹地内部的杂卤石分布区(刘成林等, 2008)(图 5), 罗中地区的钾盐镁矾矿物区(王弼力等, 2001)(图 2、3),

铁南凹地的光卤石和钾盐镁矾沉积区(图 2、3)等。

固体钾盐沉积区的长宽比值(表 2): 罗北(杂卤石)沉积区为 3.17, 铁南凹地为 4.25, 罗中为 3.33; 各区长宽比值平均为 3.58。

计算得出, 固体钾盐沉积区的总面积与罗布泊盐湖面积之比约为 3%。

固体钾盐分布面积与次级凹地面积之间的关系值得探讨, 罗北凹地杂卤石沉积区约占该凹地面积的 1/4, 由此可见, 凹地面积越大, 钾盐沉积区面积也相应变大。罗北固体钾盐分布于凹地核心区, 具有“牛眼式”分布的特征, 此类钾盐沉积经历了一定的预备阶段, 卤水逐步浓缩、沉积区收缩, 最后在凹地核心区聚集。而罗中和铁南凹地钾盐矿物沉积区的外围没有直接的浓缩预备沉积区, 沉积区面积一般很小; 这些钾盐矿物应该是富钾卤水在其他地区浓缩形成(即预备沉积), 后来迁移到盐湖晚期新构造活动产生的洼地内析出的。由上可见, 固体钾盐的沉积模式有“浓缩中心式”和“构造洼地式”两种。

固体钾盐沉积区长轴展布方向与区域性主压应力方向一致, 明显受到拉张性断裂构造控制。由于构造控制下的罗布泊固体钾盐(矿体)产状分布具有一定的规律性, 可以将其归纳为一种新的钾矿产状分布模式, 即“条带状”模式。此外, 从整个盆地角度看, 固体钾盐的分布也有“卫星式”特征, 即罗北凹地的固体钾盐分布面积最大, 位于中心, 而其他

较小范围钾盐沉积区围绕罗北分布。

4 矿床分布的方向性与等距性

罗布泊盐湖钾盐矿集区内，不论固体或液体钾

矿，它们的分布都受到张性地堑式断裂控制，并平行于区域主应力场，即 NE10°矿床之间的间隔也有一定规律性，即间距大约 5~10 km(图 6)。

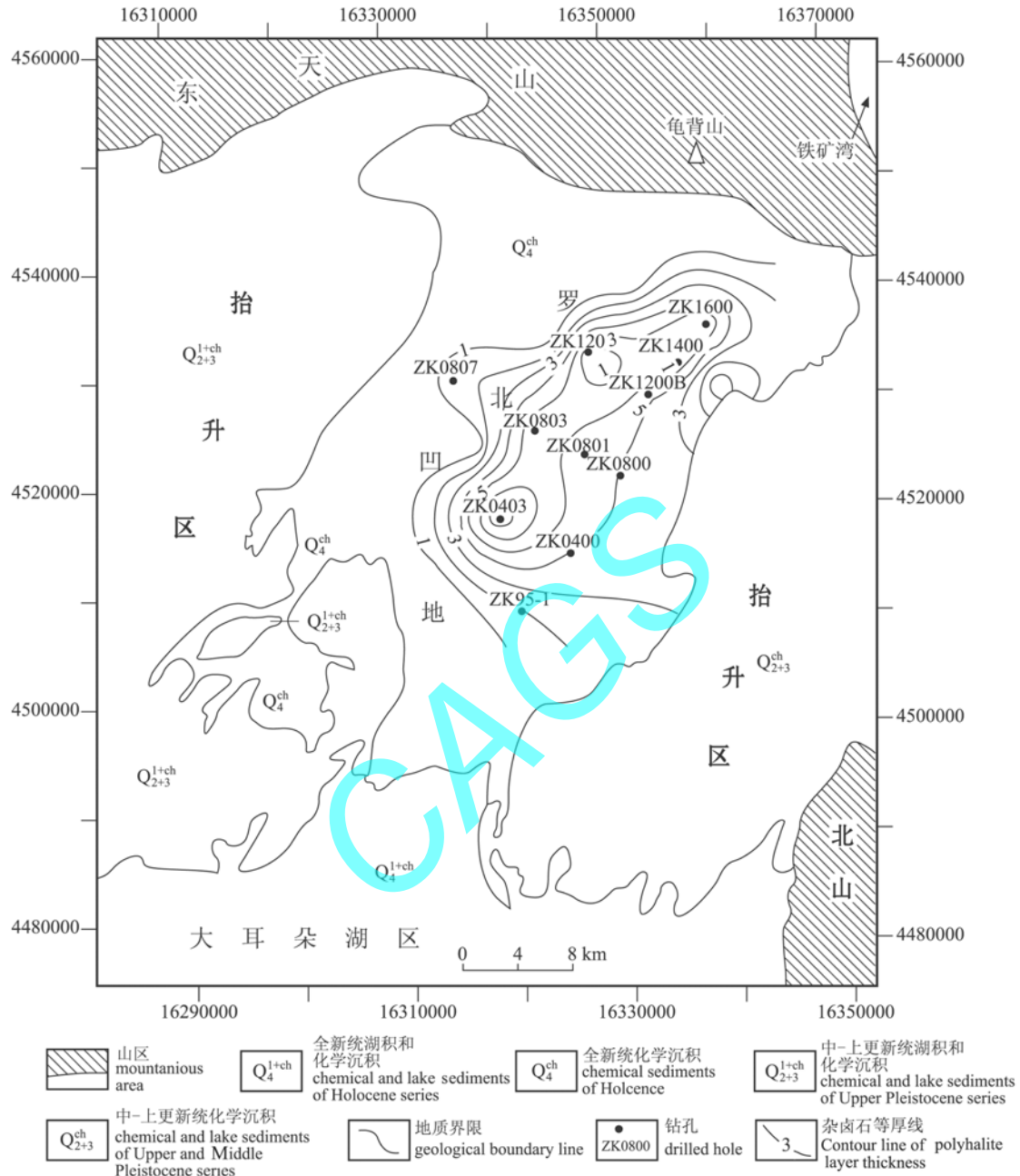


图 5 罗北凹地杂卤石层厚度分布趋势(刘成林等, 2008)

Fig. 5 The trending distributing map of polyhalite layer thickness in LuoBei hollow(after Liu Cheng-lin et al., 2008)

表 2 固体钾盐沉积分布区几何特征

Table 2 Shapes and characteristics of the potash-minerals depositing areas

序号	沉积凹地	钾盐矿物	形态	长度 (km)	宽度 (km)	长宽比值	面积 (km ²)	备注
1	罗北凹地	杂卤石	脚印状	33.78	10.67	3.17	320	据图 5 获得
2	铁南凹地	光卤石、钾盐镁矾	扁豆状	13.6	3.2	4.25	42	来自 ETM2002 影像
3	罗中区或南小团	钾盐镁矾	板条状	20	6	3.33	120	来自 ETM2002 影像
							3.58 (平均)	482 (合计)

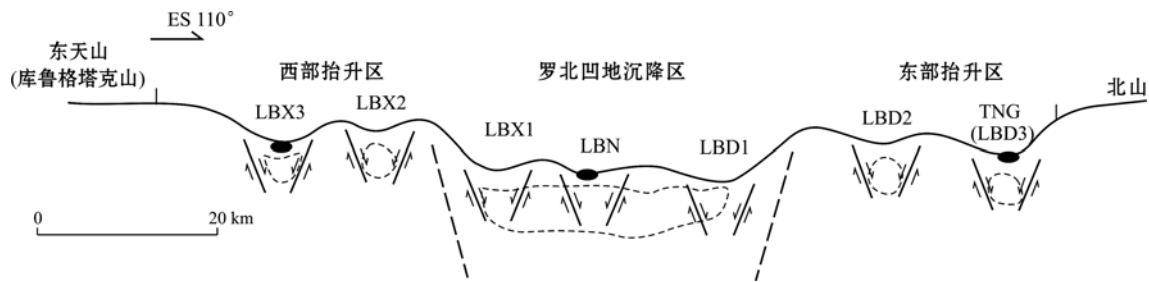


图 6 罗布泊盐湖北部 WNW-EES 向剖面上的成钾凹地空间分布示意图

Fig. 6 The distribution of the potash-forming hollows along the WNW-EES direction section of Lop Nur Salt Lake
LBN-罗北内断裂带; LBD1-罗北东 1 号断裂; LBD2-罗北东 2 号断裂; LBD3-罗北东 3 号断裂; LBX1-罗北西 1 号断裂带; LBX2-罗北西 2 号断裂带; LBX3-罗北西 3 号断裂带; 黑色扁圆体为钾盐矿物沉积区; 闭合虚线为卤水分布区

LBN-Fault belt in the interior of Luobei Hollow; LBD1- First Fault to the east of Luobei; LBD2- Second Fault to the east of Luobei; LBD3- Third Fault to the east of Luobei; LBX1- First Fault to the west of Luobei; LBX2- Second Fault to the west of Luobei; LBX3- Third Fault to the west of Luobei; Black ellipse expressing the potash-minerals depositing areas; dotted line expressing brine distribution area.

5 钾矿分布控制因素

5.1 构造性质与主压应力

根据卫星影像解译,地貌调查,沉积对比及地球物理探测(Liu Cheng-lin et al., 2006),发现罗布泊北部存在一系列 NNE10°走向的断陷带,共 7 条,可能都为地堑式断陷,间距大约 5~10 km,构成了罗布泊地堑系。地堑系是罗布泊地区新发现的一种断裂类型,对成钾凹地的形成与展布规律起到直接控制作用。这些地堑系的发育是 NE10°主压应力(王弼力等, 2001)挤压作用结果。

罗布泊地堑构造是经历几个阶段形成的(Liu Cheng-lin et al., 2006): 第一阶段,伴随罗布泊北部盐湖(以钙芒硝沉积为主)沉积区抬升露出水面,地堑断裂开始形成,并形成罗北凹地等,继续沉积钙芒硝;第二阶段,北部区抬升作用继续,已形成的凹地则继续沉降,同时形成新的断陷洼地;第三阶段,拉张断裂作用和新生断陷洼地继续生长,深部上升卤水流体补给断陷洼地,并出现钾盐矿物沉积(刘成林等, 2003)。总之, NE10°主压应力作用是控制罗布泊钾盐矿床形成和展布方向的主要因素。

5.2 盆地几何形态

从图 3 可见,罗布泊凹陷的长轴 NE10°向展布,长轴与短轴之比约为 1.8。区域主压应力方向与凹陷长轴大致垂直,由于凹陷中部受到的压力最大,拉张强度也最大,形成的地堑式断裂规模也较大,有利于成钾凹地的形成。从罗布泊情况看,在长条形或椭圆形的凹陷中部,出现应力“中心”,形成最大的成钾凹地,而其两侧出现相对较小的成钾凹地。可以认为,盆地几何形态对成钾凹地的形成有一定控制作用,即盆地的长轴与短轴比值越大,则可能形成较多的成钾凹地,反之,可能较少。

5.3 盆地面积

盆地面积对其内的次级成钾凹地的影响,主要表现在次级成钾凹地的面积比例分配上。罗布泊的成钾凹地包括罗北凹地、罗西凹地、铁南凹地等,它们的面积共计 1843 km²,盆地(盐湖区)面积 18494 km²,计算得到卤水钾盐矿区面积占盆地面积约 10%。由此推测,如果盆地面积越大,则成钾凹地面积也越大。其次,固体钾盐沉积区面积共计 482 km²,与盆地面积之比约为 3%,而大型海相钾盐矿则占盆地面积的 6.24%(唐敏等, 2009),显然陆相盆地固体钾盐沉积规模明显小于海相钾盐,这是由于内陆河湖水钾离子含量比海水钾离子低造成的。

5.4 补给方向

由图 3 可见,罗布泊钾盐矿区总体上分布于盐湖沉积区的东北部。由于第三纪末以来,塔里木盆地演化为“西高东低”的地形格局,罗布泊成为塔里木盆地的汇水区,因此,罗布泊湖水主要受来自西部、西南部的河流补给,如塔里木河、车尔臣河、孔雀河及若羌河等,而罗布泊北部、东部及南部的补给很弱,因此罗布泊东北部湖区属于远离补给源的地区,有利于古湖水的持续蒸发浓缩,最后,钾盐在卤水中聚集成矿。

6 讨论与结论

本文通过总结分析最近 10 多年来罗布泊盐湖钾盐研究、调查资料成果,重点讨论钾盐矿床的分布特征与规律。矿床分布模式是矿床成因的具体表现形式,是矿床成因模型转化为找矿模型的桥梁。罗布泊卤水钾矿,除在罗北凹地外,在其外围的较小凹地内也有分布,表现为“卫星式”分布模式,固体钾盐沉积也有类似的宏观分布特征。而在地堑式

断裂带延伸的范围区内出现卤水,其分布表现为“含水墙”状,该模式明显有别于水平层状钾矿层的分布模式。

固体钾盐分布于成钾凹地中心区及断陷带内,形态与展布方向均受到地堑式断裂构造控制,沉积模式有凹地内“浓缩中心式”和晚期“构造洼地式”两种,前者钾矿面积约占凹地面积的1/4,后者钾盐沉积可能充满构造洼地。固体钾盐形态主要呈条带状,可称“条带状”模式,其长宽之比值为3.58。

此外,盆地几何形态特征、面积、盆地补给方向可以影响到次级成钾凹地形成的构造位置、成钾规模与卤水浓缩区的空间位置分布等。

总之,罗布泊钾盐矿的形态及空间分布规律受构造应力场及构造样式的明显控制,具有方向性和等间距性,掌握罗布泊钾盐矿床的分布模式,尤其是固体钾盐的分布特征及参数,对于勘查相似大地构造背景下沉积的古代固体钾盐具有重要参考价值。

致谢:本文得到审稿专家细致和中肯的修改建议,使文章更加完善,在此表示衷心谢意。

-中国地质科学院矿产资源研究所。2005.罗布泊及邻区盐湖钾盐资源评价研究(十五科技攻关305项目课题)。

参考文献:

- M-Г·瓦里亚什科。1965. 钾盐矿床形成的地球化学规律[M]。范立等译,北京:中国工业出版社,274-309。
- 刘成林,焦鹏程,王弼力,李树德,陈永志。2003. 新疆罗布泊第四纪盐湖上升流体及其成钾意义[J]。矿床地质,22(4):386-392。
- 刘成林,王弼力,焦鹏程,樊卫东,陈永志,杨智琛,王敬国。2008. 罗布泊杂卤石沉积特征及成因机理探讨[J]。矿床地质,27(6):705-713。
- 刘成林,王弼力。1999. 罗布泊第四纪沉积环境演化与成钾作用[J]。地球学报,2(Sup):264-270。
- 刘群,陈郁华,李银彩,蓝庆春,袁鹤然,阎东兰。1987. 中国中、新生代陆源碎屑-化学岩型盐类沉积[M]。北京科学技术出版社:128。
- 唐敏,刘成林,焦鹏程,陈永志,曹养同,胡妍娜。2009. 世界海相钾盐矿床特征定量化分析及其意义[J]。沉积学报,27(2):326-333。
- 王弼力,李廷祺,刘成林,杨智琛,李长华。1996. 新疆罗布泊罗北凹地钾矿的重大发现[A]。《“八五”地质科学重要成果学术交流会议论文选集》,北京:冶金工业出版社,446-449。
- 王弼力,刘成林,焦鹏程,杨智琛,李亚文。1998. 罗布泊罗北凹地超大型钾盐矿床特征及其开发前景[J]。矿床地质,17(Sup):433-435。

王弼力,刘成林,焦鹏程。2001. 罗布泊盐湖钾盐资源[M]。北京:地质出版社,177-186。

References:

- LIU Cheng-lin, JIAO Peng-cheng, WANG Mi-li, LI Shu-de, CHEN Yong-zhi. 2003. Ascending Brine Fluids in Quaternary Salty Lake of Lop Nur in Xinjiang and Their Significance in Potash Formation[J]. Mineral Deposits, 22(4): 386-392(in Chinese with English abstract).
- LIU Cheng-lin, WANG Mi-li, JIAO Peng-cheng, FAN Wei-dong, CHEN Yong-zhi, YANG Zhi-chen, WANG Jin-guo. 2008. Sedimentary Characteristics and origin of polyhalite in Lop-Nur Salt Lake, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 27(6): 705-713.
- LIU Cheng-lin, WANG Mi-li, JIAO Peng-cheng, LI Shu-de, CHEN Yong-zhi. 2006. Features and Formation Mechanism of Faults and Potash-forming Effect in the Lop Nur Salt Lake, Xinjiang, China[J]. Acta Geologica Sinica, 936-943.
- LIU Cheng-lin, WANG Mi-li. 1999. Evolution of Quaternary Depositional Environments and Forming of Potash Deposits in Lop lake, Xingjiang, China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 20 (sup): 264-270(in Chinese with English abstract).
- LIU Qun, CHEN Yu-hua, LI Yin-cai, LAN Qing-chun, LAN Qing-chun, YUAN He-ran and YAN Dong-lan. 1987. Salt Sediments of Terrigenous Clastic-Chemogenic Type in Meso-Cenozoic of China[M]. Beijing Science and Technology Publishing House, 128 (in Chinese with English abstract).
- TANG Min, LIU Cheng-lin, JIAO Peng-cheng, CHEN Yong-zhi, CAO Yang-tong, HU Yan-na. 2009. Quantitative Analysis and Significance of the Marine Potash deposits in the World[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 27(2): 326-333.
- VALYASKKO, M. Г. 1965. Geochemical Regularity for the Formation of Potash Deposits[M]. Beijing:China Industrial Press: 17-19(in Russian; Chinese translation by Fan Li et al.).
- WANG Mi-li, LI Ting-qi, LIU Chen-glin, YANG Zhi-chen, and LI Chang-hua. 1996. Important discovery of a potash deposits in Luobei subbasin of the Lop Nur, Xinjiang, China[A]. In: Geological Society of China(ed.), Selected Papers Presented to the Academic Exchange Meeting of Major Achievements of the Geological Sciences Obtained in the Eighth Five-Year Plan Period[C]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 446-449(in Chinese).
- WANG Mi-li, LIU Cheng-lin, Jiao Peng-cheng, YANG Zhi-chen and LI Ya-wen. 1998. Characteristics of the Luobei subbasin superlarge potash deposit in the Lop Nur and its development prospects[J]. Mineral Deposits, 17(sup.): 433-435(in Chinese).
- WANG Mi-li, LIU Cheng-lin, JIAO Peng-cheng. 2001. Saline Lake Potash Resources in the Lop Nur, Xinjiang[M]. Beijing: Geological Publishing House, 177-186(in Chinese with English abstract).
- WANG Mi-li, LIU Cheng-lin, JIAO Peng-cheng. 2005. Minerogenic Theory of the Superlarge Lop Nur Potash Deposit, Xinjiang, China[J]. Acta Geologica Sinica, 79(1): 53-65.