

盐湖沉积改造与地下卤水成因 ——以库车盆地和渤海湾盆地为例

李建森^{1,2}, 山发寿^{1,2}, 李庆宽^{1,2}, 秦占杰^{1,2}, 王明祥^{1,2}, 樊启顺^{1,2}

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 中国科学院盐湖资源综合高效利用重点实验室, 青海 西宁 810008;
2. 青海省盐湖地质与环境重点实验室, 青海 西宁 810008)

摘要:2015年在新疆库车盆地发现富钾盐泉水,进一步为库车盆地地下钾盐找矿提供了线索。为探讨地下卤水成因,结合渤海湾盆地总结了受断裂活动控制发育的古盐湖底辟构造的盐湖沉积改造模式。控制盐体改造的断裂带及后期发育的断裂系为地下卤水的沟通和混合提供了空间和通道,从而影响地下卤水的矿化度和化学组分。氢氧同位素特征揭示,库车盆地富钾盐泉水的水体来源主要为当地大气降水,而钾的物质来源与古盐湖析盐后期浓缩卤水或地下固体钾盐的溶解有关;渤海湾盆地地层水则继承了古盐湖沉积卤水,后期经受水—岩反应、浅层水体掺杂等改造作用,最终形成矿化度分布具有极大差异性的地层水。沉积盐体的“古拗今隆”决定着钾盐的沉积、分异变形改造和保存,隆起盐体的次级拗陷及陡坡一侧是高矿化度卤水储存及钾盐矿物沉积的有利部位,值得关注和深入研究。

关键词:地下卤水;盐底辟构造;库车盆地;渤海湾盆地

中图分类号:P619.211

文献标识码:A

文章编号:1008-858X(2020)04-0041-07

中国盐湖资源丰富,但缺乏固体钾盐矿床,这主要是由于复杂的成盐地质构造条件决定的,致使多期成盐后经历多期迁移^[1],钾盐相对难以保存。液体矿床一直作为开发利用重点,地质勘探不断取得突破,新的富矿卤水资源陆续被发现,如近年新发现的柴达木盆地内晚更新世砂砾岩型地下卤水被认为是高山融水对地层含盐系溶滤形成的^[2]。随着对卤水资源需求的日益强烈,迫切需要深入查明地下卤水资源的成因。卤水资源的形成与盐湖的沉积作用密切相关,全面揭示盐湖成盐聚钾是固体钾盐找矿工作突破的基础。在盐湖沉积后期往往伴随复杂的构造作用,会使盐体改造变形,此过程所涉及的钾盐赋存机制由此成为目前固体钾盐找矿的重点问题。大量盐盆地实例表明,差异负载和热梯度通常会促进盐构造的发育,并在进一步挤压作用下形成盐底辟^[3],在断层发育区段由于上覆沉积物厚度、底部盐体厚度、载荷不均等因素还会使盐底辟出露地表^[4]。极

为典型的是西部的库车盆地,在亚欧板块碰撞环境下发育包括基底冲断、滑脱构造、走滑断层在内的复杂挤压构造体系,控制了第三纪蒸发盐沉积的后期改造,并在地表形成大量的盐构造样式^[5]。比较特殊的还有东部的渤海湾盆地,在太平洋板块俯冲环境下发育走滑断层而形成裂谷盆地,由盆地断层控制形成了一系列的隆起和拗陷,并沉积了厚层岩盐^[6-7]。目前,对库车盆地和渤海湾盆地的盐构造研究多与油气藏形成、运移相结合,而较少关注盐体改造过程对卤水资源形成和演化的影响。因此,在提出盐湖沉积及其后期改造模式的基础上分析地下卤水起源演化,就显得尤为重要。

作者近期对新疆库车盆地盐泉水和渤海湾盆地地下卤水开展了地球化学研究,并认为盐泉水与地下卤水的成因演化与古盐湖沉积改造密切相关,古盐湖的后期改造及盐体构造变形对卤水的迁移和富集起到了极为重要的作用,这对于地下

收稿日期:2019-03-26;修回日期:2019-10-05

基金项目:国家自然科学基金(41972258, U1407128, 41402229);中国科学院青年创新促进会项目(2020428)

作者简介:李建森(1987-),男,助理研究员,主要研究方向水文地质。Email:songtaowuya@163.com。

固体钾盐矿床寻找具有指示意义。本文基于两盆地盐泉水和地下卤水的氢氧稳定同位素特征探讨了卤水成因机制,总结了盐湖沉积改造模式与地下卤水形成的关系,以指导钾盐矿床勘探。

1 盐湖沉积及其改造

1.1 湖盆形成阶段

盐湖是地理环境和内外地质营力长期作用的产物,湖盆的成因具有多样性。柴达木盆地新生代周缘山体不断抬升,盆地不均一拗陷,促使湖盆演变,发育了一系列第三系古老湖盆,为柴达木盆地第一次大范围成盐提供了地形基础^[8-9]。第四纪盐湖亦多为构造断陷湖,在继承了新生代断陷发育的基础上接受新构造运动的改造,如靠近祁连山一侧发育的茶卡、大柴旦、马海、牛郎织女湖、冷湖等,以及靠近昆仑山发育的察尔汗、东西台、一里坪、尕斯库勒湖等,具有沿区域构造线发育的显著特征,充分说明柴达木盆地湖盆是印度和亚欧板块碰撞导致整体差异沉降形成的高山深盆。南天山造山带控制了库车前陆盆地,在挤压环境下拗陷发育为再生前陆盆地,形成库车古湖盆。渤海湾盆地则是在左旋走滑剪切作用生成的中生代构造基础上,经由第三纪拉张和右旋剪张将地壳沿断裂拉开下陷,是东部典型裂谷盆地。可以说,挤压或拉张构造环境下形成的沉降拗陷盆地为湖盆形成提供了必要基础。

1.2 湖盆充填阶段

盐湖形成最重要的基础条件便是丰富的物质来源,“高山深盆”环境可以使大量的有益元素汇聚到湖盆中,柴达木盆地就是典型代表。多数盐湖依赖高大山脉和水系而存在,山体物质不断风化淋滤补给到湖盆中,沿断裂带分布的湖盆周缘又往往出露大量热泉,热泉则可能与地下熔融态的岩浆囊有关,作为一种深循环大气降水可以更为高效地萃取地壳组分,从而使泉水携带大量有益元素补给到盐湖中,造山带附近深大断裂也可输导部分热液物质到盐湖中,成为盐湖的重要物质来源。库车盆地同样具备“高山深盆”成盐环境,古特提斯海为盆地带来了丰富的盐类物质,后

期叠加补给非海相物源,如盆地第三系泥岩和盐岩中方沸石矿物的发现,被认为与湖相火山活动有关。根据较低的溴含量以及氯同位素证实,第三系盐岩与大陆水体的汇聚以及盐类物质重溶有关,可以确定的是海相与非海相物源对盐湖发育皆起到了重要作用。渤海湾盆地属于较为典型的裂谷成盐,先期海水入侵为盐岩沉积提供基础,后期亦与大陆水体改造有关,可见盐湖成盐物质来源的多样性和复杂性。正是大量的物质和水体对湖盆进行了充填,为盐湖发育打下了基础。干旱气候条件下,盐类物质开始大量析出,形成不同的盐类蒸发序列。其间往往由于气候的干湿变化导致盐湖沉积的间断,这种复杂的成盐环境又可形成新矿物和新的盐湖沉积组合。

1.3 盐体改造变形阶段

大地构造环境及其格局变迁,极大地影响了盐湖发育和后期盐体沉积与改造变形。在库车盆地,膏盐和盐岩大量沉积后由于密度较小、可塑性强的特点,发生重力差异负载而向上流动,形成盐底辟。加之持续受到挤压应力,进一步隆起产生盐背斜,并以盐刺穿的形式出露地表。盐湖沉积埋藏过程中往往尚存部分晶间卤水,一般可达到析盐中后期阶段。钾富集程度高,由于膏盐和盐岩等固体蒸发岩的隆起,可发生一定固液分离,地温梯度和高压环境则极好的催化了本已可能达到钾盐析出阶段的晶间卤水进一步析盐,这就有可能在地下形成固体钾盐,同时部分高度富钾的卤水在盐体隆升陡坡侧相对低洼处保存下来。强烈的挤压构造环境发育大量次生断裂,沟通了地下与地表的物质联系,使部分地下卤水向上运移或者地表水沿断裂下渗溶解钾盐矿物并可能循环至地表^[10]。

受断裂控制,渤海湾盆地自新生代以来发育了大量的隆起与拗陷,拗陷内就可沉积巨厚的盐岩并为高浓缩卤水的运移储存提供空间环境。在拗陷深部生成盐岩,局部达到钾盐析出阶段,部分生长性断层在活动过程中产生重力滑动,造成盐岩上覆地层厚度不断加大,由于上覆岩层密度大于盐岩密度而产生浮力,造成盐岩缓慢顺层流动,加之差异压实,促进了盐岩沿断层面塑性上拱形成盐丘,成为找钾的有利靶区。可以说,蒸发岩体

的“古拗今隆”对于盐湖成矿的后期改造作用与固体钾盐或卤水富集具有显著的影响,值得重视。

基于对盐湖沉积和改造的多年研究,以及对此过程中卤水运移和固体钾盐析出的分析,可以认为古盐湖沉积改造及卤水迁移可以分为三个阶段:1)在干旱气候条件下,盐湖卤水达到析盐阶段,湖盆中析出大量石盐,和晶间卤水共存,此时卤水中的钾元素已经得到了较好的富集,并有可能析出固体钾盐。2)进一步遇暖湿气候时大量沉积物输入湖盆,将盐类物质埋藏,盐湖便进入钾盐埋藏分异阶段,此时蒸发盐层可形成穹隆,一方面促进了固体岩盐和液体晶间卤水的分离,另一方面在热力作用下可促使卤水浓缩析盐而使钾元素继续富集。3)后期改造阶段发育大量盐背斜或断层控制下的局部盐体隆起,这就使得富钾卤水易于运移储藏至盐背斜或盐体隆起侧的拗陷或陡坡,厚层盐岩之上的固体钾盐同样会由于盐背斜形成或盐体隆升过程中受到上覆沉积层阻力作用而向下运移至拗陷或陡坡一侧。

2 地下卤水成因

2.1 库车盆地盐泉水成因

库车盆地自新生代以来成盐广泛,丰富的物源及有利的构造—气候条件使盆地沉积了巨厚的

蒸发岩,大量的研究积累及线索指示该区具有极好的找钾前景。不过,1962~2014年50余年以来,新疆地质局、中国地质科学院矿产资源研究所和中国科学院青海盐湖研究所先后对库车盆地开展研究,未发现K含量超过1g/L的盐泉水^[11]。2015年12月,本课题组对库车盆地采样时,在秋里塔格背斜发现十余处富钾盐泉水,其K含量最高可达45.7g/L,出露地层为古近纪—新近纪盐丘构造带中,认为其可能与地下钾盐矿床有关,具有现实找钾意义。

在中国科学院青海盐湖研究所盐湖化学分析测试中心采用美国Thermo Fisher公司的等离子发射光谱仪(ICP-OES)对盐泉水的 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 进行测试,相对标准偏差(RSD)小于0.5%; Cl^- 采用美国Thermo Fisher公司的ICS-5000+离子色谱仪测试,相对标准偏差(RSD)小于0.04%。依据钾含量差异,选取四件盐泉水,在中国地质科学院水文地质环境地质研究所地下水科学与工程实验室进行氢氧稳定同位素测定,利用在线的连续流Gasbench-IRMS,测定了卤水样品中的氢、氧同位素组成,测试精度为 $\delta D < 1\text{‰}$ 和 $\delta^{18}O < 0.2\text{‰}$,其水化学和氢氧同位素组成见表1。同时,收集前人关于新疆维吾尔自治区盐泉水、晶间水、河水等水体氢氧稳定同位素数据,投至 $\delta D-\delta^{18}O$ 关系图,如图1。

表1 库车盆地盐泉水水化学及氢氧稳定同位素组成

Table 1 Hydrochemical features and hydrogen and oxygen stable isotopic composition of salt spring in Kuqa basin										
样品 编号	K^+ /(g·L ⁻¹)	Na^+ /(g·L ⁻¹)	Ca^{2+} /(g·L ⁻¹)	Mg^{2+} /(g·L ⁻¹)	SO_4^{2-} /(g·L ⁻¹)	Cl^- /(g·L ⁻¹)	$\delta^{18}O$ /‰	δD /‰	N /°	E /°
1	33.7	69.0	6.0	1.4	0.74	151.0	+1.2	-57.4	41.934	83.262
2	45.7	8.8	1.0	1.2	2.6	58.4	-9.1	-64.0	41.633	81.983
3	19.1	67.6	1.3	0.4	3.9	126.8	-10.6	-84.7	41.554	81.475
4	0.5	97.2	7.9	1.8	0.7	164.4	-4.1	-76.3	41.925	83.044

库车盆地富钾盐泉水水化学组成较为单一,阳离子以 Na^+ 或 K^+ 为主,而阴离子以 Cl^- 为主,主要成分为NaCl和KCl。盐泉水 δD 分布在-84.7‰~-57.4‰, $\delta^{18}O$ 分布在-10.6‰~1.2‰,指示盐泉水在物源、埋藏时间和沉积演化

史上存在差别。尤其2号盐泉水,KCl含量远超NaCl含量而占绝对优势。可以确定的是,此盐泉水与固体KCl矿床直接淋滤有关,这与其氢氧同位素直接落在大气降水线附近并与当地河水类似的特征一致,2号盐泉水为大气降水溶滤地下钾盐

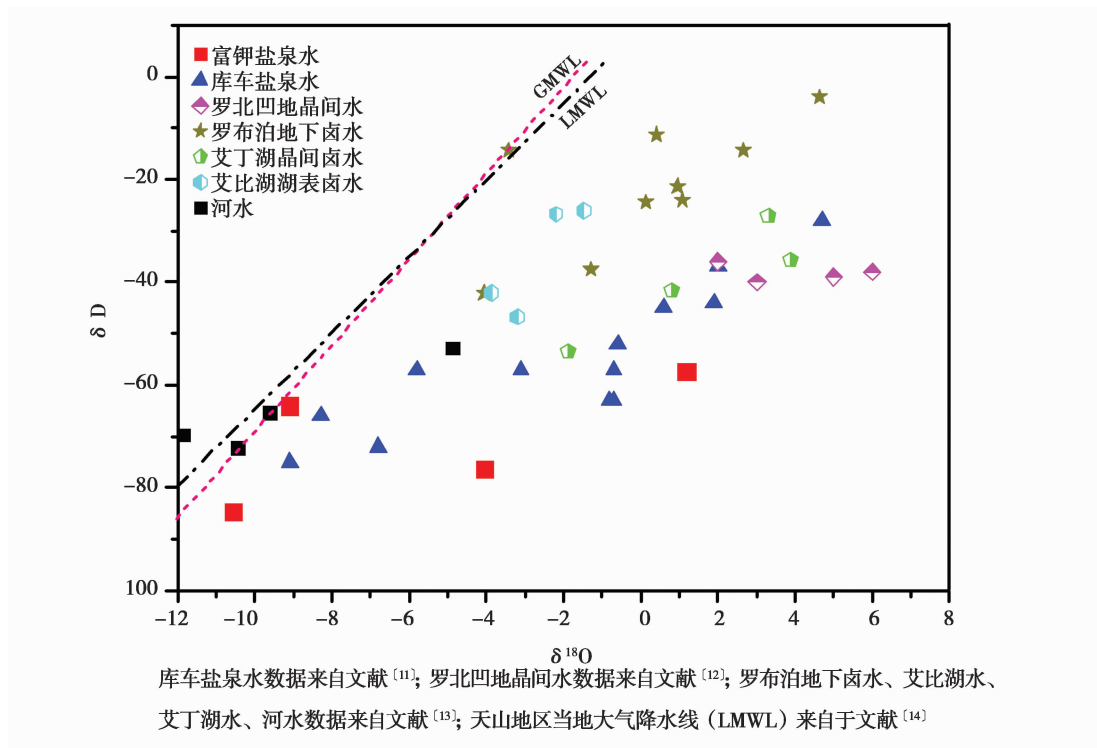


图 1 盐泉水及新疆各类水体氢氧稳定同位素分布图

Fig. 1 Hydrogen and oxygen isotope distribution of high potassium springs and varied water bodies in Xinjiang

(KCl)形成。3号盐泉水同样富钾且氢氧同位素值偏负,指示其与大气降水溶滤地下钾石盐(KCl + NaCl)有关。4号盐泉水K有所不同,含量较低,仅为0.5g/L,δD偏负反映水体来源于大气降水,而高于2号和3号富钾盐泉水的δ¹⁸O指示其经历了一定的水-岩反应,可能与地层中的石膏或灰岩等矿物岩石发生了δ¹⁸O交换,这与其Ca元素含量极高的特征一致,因此4号盐泉水为大气降水溶滤固体石盐(NaCl)成因。1号盐泉水具有高于其它盐泉水的氢氧同位素值,可能与经过强烈蒸发浓缩的卤水有关,但与区域内强烈蒸发作用下富钾的盐湖卤水、地下卤水相比,其氢氧同位素值偏负而K含量极高,表明盐泉水可能与钾石盐淋滤有关。较高的Ca含量指示除蒸发因素外,δ¹⁸O的正漂移还应该与水-岩反应有关。所以1号盐泉水与固体钾石盐(KCl + NaCl)溶滤和地层埋藏浓缩卤水有关。

总之,库车盆地盐泉水的氢氧稳定同位素分布特征指示,其在物源成因上应该与沉积析盐后期浓缩卤水和地下固体钾盐的溶解有关。与前人采集盆地盐矿点盐泉水的氢氧稳定同位素比较,

本次采集富钾盐泉水的氢氧同位素值略微偏负且含有极高的K,充分展现了地区良好的找钾前景,并指示库车盆地可能存在地下固体钾盐矿床。

盐泉水的出露与古盐湖的沉积改造有关,一方面盐湖改造发育盐丘等背斜构造过程中,某种程度上破坏原有钾盐矿的同时使富钾卤水或固体钾盐二次迁移、聚集到特定部位;另一方面控制盐湖改造的断裂可以沟通地表水体和地下钾盐的物质联系,库车高钾盐泉水应该就是地表水体沿断裂下渗淋滤含钾矿层后又经水循环返回地表形成的。

2.2 渤海湾盆地地层水成因

渤海湾盆地多有地层水分布,并沉积多层盐岩。第三纪是多数凹陷改造成型的决定性时期,在构造应力场下发育一系列断裂使凹陷大幅加深,并迅速接受沉积,高盐度地层水的形成及盐岩沉积就是在这—时期^[15]。东濮凹陷和东营凹陷是渤海湾盆地内发育蒸发岩底辟构造的两个最主要的凹陷,也是盆地内卤水矿化度最高的凹陷,可能具有找钾前景。2018年4月采集的两凹陷地

层水在中国科学院青海盐湖研究所进行水化学分析;选取高矿化度卤水8件,在中国地质科学院水文地质环境地质研究所地下水科学与工程实验室进行氢氧稳定同位素测定(测试方法同库车盆地),其矿化度和氢氧同位素组成见表2和图2。

表2 渤海湾盆地地层水矿化度及氢氧稳定同位素组成
Table 2 TDS and hydrogen and oxygen stable isotopic composition of formation water in Bohai Bay basin

样品 编号	TDS /(g·L ⁻¹)	δ ¹⁸ O /‰	δD /‰	样品 编号	TDS /(g·L ⁻¹)	δ ¹⁸ O /‰	δD /‰
1	289.7	-4.8	-56.6	5	319.6	-4.2	-52.3
2	358.4	-7.5	-55.2	6	237.4	-3.5	-42.2
3	326.8	-7.7	-67.8	7	218.1	-5.1	-53.6
4	402.5	-2.5	-60.3	8	289.2	-3.5	-38.8

1~5样品为东濮凹陷地层水,层位为古近纪始新统沙四段,深度2 992~2 856 m;
6~8样品为东营凹陷地层水,层位为古近纪始新统沙四段,深度3 651~3 408 m

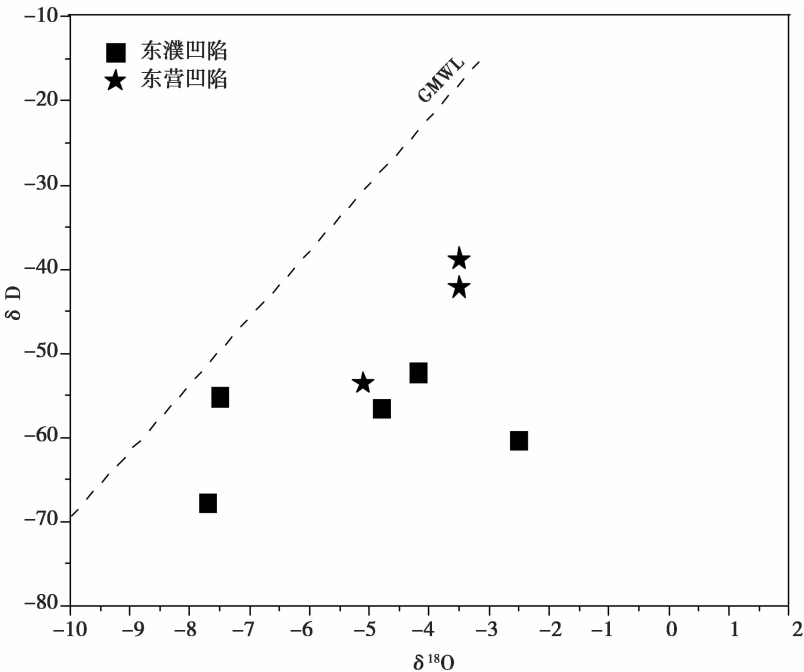


图2 渤海湾盆地地层水氢氧稳定同位素分布图
Fig. 2 Hydrogen and oxygen isotope distribution of formation water in Bohai Bay basin

渤海湾盆地地层水的氢氧同位素位于大气降水线右方,总体飘移不大。东濮凹陷部分高矿化度地层水具有偏负的氢氧同位素,可能直接来自大气降水的渗入,含量极高的盐分则与水体对岩盐的淋滤有关;另一部分地层水氧同位素相对较高,体现了充分的水—岩反应。东营凹陷地层水的氢氧同位素均偏正,较之东濮凹陷体现更多的是水体蒸发的地球化学过程,指示东营凹陷地层

水的高矿化度与水体的蒸发作用有关。因此,从渤海湾地层水的氢氧同位素组成来看,东濮凹陷的高矿化度水体主要来源于固体岩盐的淋滤,而东营凹陷高矿化度水体主要来源于水体浓缩析盐后期的沉积卤水。

东濮凹陷发育多处盐背斜,深部断裂沟通了沉积水体—盐岩、泥岩—大气降水的关联,断层线成为渗入水的主要通道,从而使地层水以垂向运

移为主,侧向为辅^[16]。因为盐岩的分布及水—岩作用的差异使其矿化度和离子组分具有一定差别^[17],所以东濮凹陷的地层水应与大气降水对地层岩盐淋滤有关。东营凹陷为众多凸起所包围,盐湖沉积初期为流体的汇聚提供了空间,后期改造作用则使巨厚盐岩及高矿化度卤水主要集中在凹陷内的中央隆起带,中央隆起带发育盐丘、盐枕和盐脊等盐构造,并形成大量拱张断裂系。含盐流体与盐构造及其伴生的断裂系有密切关系^[18],一方面深大断裂系控制盐湖沉积,使厚层盐类在深凹中发育;另一方面盐体受到挤压等构造应力而发生隆起,使高浓缩卤水向坡下迁移,在此基础上断裂系进一步发育,为流体沟通提供了空间和动力,经过水—岩反应和不同水体的掺杂,使地下卤水的成分发生变化,最终东营凹陷高度蒸发浓缩的沉积地层水富集在了中央隆起带北部陡坡一侧^[19]。

渤海湾盆地高矿化度地层水在成因上均继承了古盐湖沉积特征,后期可能接受沿断裂下渗的大气降水补给,并经碳酸盐、长石等储层矿物溶蚀以及盐岩的淋滤等水—岩作用改造而发生组分变化。同时,深部构造的发育还会在很大程度上影响卤水的迁移和富集,并涉及到钾盐沉积后期的就位,深部构造作用一直伴随地层水演化的整个过程,起着极为重要的作用,钾盐矿床勘查中需要高度重视。

3 结 论

1)盐湖的沉积改造对于地下卤水的形成演化至关重要,尤其在沉积后期发育盐丘等底辟构造的盐体改造过程中,控制盐体改造的断裂带及后期发育的断裂系为地下卤水的沟通和混合提供了空间和通道,决定着卤水的迁移、聚集、浓缩和保存,极大地影响了地下卤水的矿化度和化学组分。

2)库车盆地高钾盐泉水的水体来源主要为当地大气降水,而钾的物质来源与古盐湖析盐后期浓缩卤水或地下固体钾盐的溶解有关;渤海湾盆地地层水继承了古盐湖沉积卤水,后期接受水—岩反应、浅层水体掺杂等改造作用,最终形成矿化度分布具有极大差异性的地层水。

3)盐体的“古拗今隆”决定着钾盐的沉积、分异变形改造和保存,隆起盐体的次级凹陷及陡坡一侧是高矿化度卤水储存及钾盐矿物沉积的有利部位,宜作为勘探优选靶区。

参考文献:

- [1] Liu C L, Wang L C, Yan M D, *et al.* The Mesozoic-Cenozoic tectonic settings, paleogeography and evaporitic sedimentation of Tethyan blocks within China: Implications for potash formation[J]. *Ore Geology Reviews*, 2018, 102: 1–24.
- [2] Zheng M, Hou X, Yu C, *et al.* The leading role of salt formation theory in the breakthrough and important progress in potash deposit prospecting[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2015, 36(2): 129–139.
- [3] Hudec M R, Jackson M P. Terra infirma: Understanding salt tectonics[J]. *Earth – Science Reviews*, 2007, 82: 1–28.
- [4] Jahani S, Hassanpour J, Mohammadi-Firouz S, *et al.* Salt tectonics and tear faulting in the central part of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2017, 86: 426–446.
- [5] Neng Y, Xie H W, Yin H W, *et al.* Effect of basement structure and salt tectonics on deformation styles along strike: An example from the Kuqa fold-thrust belt, West China[J]. *Tectonophysics*, 2018, 730: 114–131.
- [6] Li Z X, Zuo Y H, Qiu N S, *et al.* Meso-Cenozoic lithospheric thermal structure in the Bohai Bay Basin, eastern North China Craton[J]. *Geoscience Frontiers*, 2017, 8(5): 977–987.
- [7] Xu Q M, Yang J L, Hu Y Z, *et al.* Magnetostratigraphy of two deep boreholes in southwestern Bohai Bay: Tectonic implications and constraints on the ages of volcanic layers[J]. *Quaternary Geochronology*, 2018, 43: 102–114.
- [8] 张彭熹. 柴达木盆地盐湖[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 32–46.
- [9] 郑绵平. 青藏高原盐湖[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1989: 18–33.
- [10] 山发寿, 秦占杰, 樊启顺, 等. “凹口凸”钾盐成矿模式与找钾方法[J]. *盐湖研究*, 2018, 26(1): 1–7.
- [11] 伯英, 曹养同, 刘成林, 等. 新疆库车盆地盐泉水水化学特征、来源及找钾指示意义[J]. *地质学报*, 2015, 89(11): 1936–1944.
- [12] 刘成林, 王弭力, 焦鹏程. 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*, 1999, 18(3): 268–275.
- [13] 郑喜玉, 李秉孝, 高章洪, 等. 新疆盐湖[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 119–122.
- [14] Wang S J, Zhang M J, Hughesd C E, *et al.* Meteoric water lines in arid Central Asia using event-based and monthly data[J]. *Journal of Hydrology*, 2018, 562: 435–445.

- [15] 高红灿,郑荣才,肖应凯,等. 渤海湾盆地东濮凹陷古近系沙河街组盐岩成因[J]. 石油学报,2015,36(1):19-32.
- [16] 王君,楼章华,朱蓉,等. 渤海湾盆地东濮凹陷文留地区现今地层水化学与油气运聚[J]. 石油与天然气地质,2014,35(4):449-455.
- [17] 杨绪充. 东濮凹陷地下水动力环境探讨[J]. 石油与天然气地质,1988,9(4):401-409.
- [18] 刘晓峰,解习农. 与盐构造相关的流体流动和油气运聚[J]. 地学前缘,2001,8(4):343-349.
- [19] 赵艳军,刘成林,靳彩霞,等. 渤海湾盆地济阳坳陷沙河街组四段地层水特征及成盐指示[J]. 地学前缘,2014,21(4):323-330.

Relationship between Sedimentary Transformation of Saline Lake and Formation of Underground Brine – Take Kuqa and Bohai Bay Basin as Examples

LI Jian-sen^{1,2}, SHAN Fa-shou^{1,2}, LI Qing-kuan^{1,2}, QIN Zhan-jie^{1,2}, WANG Ming-xiang^{1,2}, FAN Qi-shun^{1,2}

(1. Key Laboratory of Comprehensive and Highly Efficient Utilization of Salt Lake Resources, Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;

2. Qinghai Provincial Key Laboratory of Geology and Environment of Salt Lakes, Xining, 810008, China)

Abstract: Springs with high potassium content were found in Kuqa basin in 2015, which further provided clues for underground potash ore prospecting. Meanwhile combined with studies on Bohai bay basin, we summarized the saline lake sedimentary and transformation model influenced by diapiric structure development and discussed the relationship between sedimentary transformation of saline lake and formation of underground brine. The fractures can provide space and channel to migration and mixture of underground brine, with the salinity and chemical composition being changed. Based on the hydrogen and oxygen isotope studies of Kuqa basin, we found that the saline spring water was originated from atmospheric precipitation. The concentrated brine or underground solid potash ore provide much potassium to springs. In Bohai Bay basin, the formation water with different salinity was not only inherited the late stage brine of ancient saline lake deposit, but also modified after water and stratum rock or water adulteration. Sedimentary, deformation and storage of potash can be controlled water-rock reaction body. Secondary sag or the side of steep slope should be favorable zones for high salinity brine storage and potassium mineral deposits, being preference target region for potash exploration.

Key words: Underground brine; Salt diapirs; Kuqa basin; Bohai Bay basin