

柴达木盆地昆特依盐湖大盐滩矿区杂卤石 沉积特征及成因浅论

刘 铸^{1,2}, 高东林¹, 李斌凯¹, 袁小龙¹, 张 岩^{1,2}, 李宝兰^{1,2}

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 昆特依盐湖是柴达木西北部一个次级断陷盆地, 大盐滩矿区即位于其中。大盐滩矿区赋存有丰富的卤水钾盐矿床, 同时也沉积了储量可观的固体钾盐矿, 杂卤石是主要的固体钾盐矿物。大盐滩杂卤石主要分布于矿区中南部, 面积约 302 km²。杂卤石主要产出于石盐粒晶间及淤泥或粘土层中, 呈薄层状分布, 埋深 12 ~ 65 m, 钻孔岩芯化学分析结果揭示, K₂SO₄ 品位在 2.43% ~ 8.78% 之间, 平均 3.95%。对不同赋存状态的杂卤石成因进行了初步探讨, 推测杂卤石成因的两种可能性: ①在盐湖沉积期间, 当石膏和石盐沉淀后, 浓卤水和硬石膏反应而生成杂卤石, 并交代了硬石膏或结晶在石盐孔洞中。②在构造较为剧烈的升降期, 由于钾易被粘土物质吸附, 当进一步浓缩的卤水与粘土作用便以杂卤石的形式沉积下来, 此类杂卤石原生沉积的特征明显。大盐滩固体钾盐资源成矿潜力大, 查明其成因和分布规律可为开发大盐滩固体钾盐提供理论支持。

关键词: 大盐滩; 杂卤石; 固体钾盐; 成因

中图分类号: P619.211

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2015)01-0030-08

柴达木盆地西部大盐滩钾矿床是固体矿、液体矿并存综合性盐类矿床。液体矿产主要有 KCl、NaCl、MgCl₂、MgSO₄ 等, 固体矿以石盐为主, 芒硝、杂卤石和可溶性钾矿次之, 液体矿资源量 1.46×10^8 t, 固体杂卤石储量 2.08×10^8 t。大盐滩盐湖区已成为青海省重要的钾肥生产基地。本次研究依托大盐滩钾矿区固体杂卤石钾矿(ZI、ZII 矿层)详查项目, 初步查明了该地区固体杂卤石分布特征, 其品位达到了工业开采所要求。

中国杂卤石矿在第四纪和第三纪盐湖中分布颇广, 如江汉盆地、四川盆地、渤海湾等地^[1-5]。以往对大盐滩钾盐的研究主要集中在液态钾矿, 而杂卤石矿层由于钾品位相对较低, 加之其溶解度小, 开发利用难度大, 一直未给予足够重视, 但随着地下卤水水位持续降低, 通过

液化途径开采杂卤石矿引起了企业的重视。国内一些实验研究^[6-8]及近期中国科学院青海盐湖研究所对大盐滩杂卤石矿石进行了溶浸试验, 结果表明杂卤石的开发在理论上具有可行性^[9], 若野外规模化溶矿试验成功, 对增加我国可利用钾资源量意义重大。

本文通过对大盐滩杂卤石沉积特征的分析研究, 探讨了大盐滩固体钾盐的沉积规律, 为固体钾盐资源评价提供重要的理论基础。

1 大盐滩沉积

1.1 盐湖沉积演化历史

柴达木盆地为一断陷盆地, 自印支运动以来一直处于拗陷状态, 第四纪时期盆地的发展

收稿日期: 2014-05-08; 修回日期: 2014-08-22

基金项目: 大盐滩钾矿区固体杂卤石矿分布及采矿技术研究项目(Y350121037)资助

作者简介: 刘 铸(1988-), 男, 硕士研究生。主要研究方向为矿产资源普查与勘探。Email: liuzhu1988@126.com。

通信作者: 高东林。Email: gaodl@isl.ac.cn。

具有很强的继承性,盆地基底形态与现今盆地凹陷分布一致。昆特依盆地是在青藏高原区域性隆升构造动力背景下,逐渐从柴达木盆地分隔出来而形成的次级盆地^[10]。在晚上新世时为一统一的古湖,接受周边陆源碎屑补给,至上新世末接受了万米以上的第三系沉积。

上新世末至早更新世初发生的构造运动,使盆地第三系地层褶皱,形成一系列北西向排列的背斜构造和向斜凹地。这些背斜构造的一部分暴露地表,受到剥蚀和夷平,大部分背斜构造当时可能处于水下,形成低缓的水下隆起,这些水下隆起和出露地表的背斜构造的阻隔,使各向斜凹地之间形成半封闭的环境。由于封闭条件较差,来源于北部山区的水系经一系列河湖系统流入昆特依盆地,经过初步浓缩后注入古柴达木湖。作为过水盆地,接收的盐类沉积主要为碳酸盐,偶见石膏沉积。

早更新世中晚期至中更新世初发生的两次构造运动,使冷湖构造、俄博梁构造等进一步隆起,丰水期各湖盆仍与古柴达木湖相连,枯水期各成盐凹地形成封闭的环境,故可在凹地内形成盐类沉积。盐类沉积以石盐为主,其次是石膏、芒硝以及泻利盐等。至中更新世晚期昆特依盆地与古柴达木湖完全隔离。

晚更新世早期的构造运动使阿尔金山隆升,盆地内第三系背斜带及其两翼中下更新统也一起隆起。葫芦山构造的隆升使大盐滩与大熊滩分离,矿区完全封闭。此时各成盐盆地已经没有稳定的地表水体直接补给,加之气候日趋干旱,湖水浓缩而出现干盐滩环境,盐类矿物大量沉积。从盐类沉积特征来看,主要为湖积和化学沉积组成的韵律层。

至晚更新世晚期,盆地真正形成了高山深盆的地貌景观。各成盐盆地先后干化,受构造运动和地貌的控制,湖水向源收缩迁移,在靠近补给源的凹地内因受断裂带深部水和地表水的补给,形成钾湖和北部新盐带,从而形成全新统盐类沉积。

大盐滩地区虽然经历了长期的发展演化过程,但未形成有工业价值的固体钾矿,这主要与湖盆的干涸程度和气候变化有关。韩凤清等^[11]研究表明,盐层形成时的干旱气候比较稳

定,成岩阶段泥岩形成时半干旱气候波动最剧烈,而未成盐阶段泥岩形成时的湿润气候变化剧烈程度介于以上二类气候之间。再者,在缺乏水系补给的条件下,干盐滩的沉积分异作用不能进行,成矿物质难以集中,因而不能形成工业钾矿层。仅在 ZK3208 孔附近有少量次生钾石盐沉积^[12-13]。

1.2 化学沉积系列

大盐滩盐类矿物在钻孔揭示的上更新统(20世纪90年代普查报告揭示出该统出露广泛,是第四系中分布面积最大的一个统,地层厚度一般为30~60 m,本次勘探设计只针对杂卤石ZI、ZII矿层)中分布特征表现为,湖积和化学沉积组成的韵律层自下而上可分为两个大的沉积旋回。在地表粘土层与盐层相间分布,组成明显的环状条带,呈椭圆状环绕盆地。该统碎屑层主要岩性为黄绿—褐黄—灰黑色含石膏的淤泥、含石盐石膏的淤泥、含杂卤石的粉砂粘土等。盐层主要岩性为灰白—浅灰色含粉砂的石盐、含粉砂芒硝之石盐、含杂卤石淤泥之石盐和芒硝石盐等。

第一旋回(Q_3^{ch+1}) 相当于第Ⅱ含水岩组。碎屑层最大厚度12.17 m;盐层最大厚度15.27 m,最小0.03 m,一般1.5~2.5 m,含盐率56%。从ZK3208孔的岩性和沉积韵律看,该旋回中盐类沉积自下而上继续增加,且碎屑层中普遍含盐,说明这一时期的气候是日趋干燥,卤水的矿化度不断上升。

第二旋回(Q_3^{ch}) 相当于第Ⅰ含水岩组。与第一旋回相比,沉积范围明显缩小,厚度变薄,说明盐湖日趋干化。碎屑层最大厚度5.01 m;盐层最大厚度8.55 m,最小0.50 m,含盐率52%。从ZK3208孔岩性看,该旋回出现较多的杂卤石矿物,说明这一时期卤水中 K^+ 含量较高^[14]。

2 杂卤石特征及杂卤石岩类型

2.1 杂卤石特征

杂卤石(polyhalite)的化学分子式为

$K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$, 是一种可溶性钾盐和硫酸盐矿物, 通常与硬石膏、石盐产在一起, 可以直接作为复合钾肥使用。本研究中的杂卤石呈微细晶结构, 大小一般为 $0.01\text{ mm} \sim 0.05\text{ mm}$, 单晶形态为叶片状、针状、纤维状, 集合体呈绒球状、放射状或扇状(图 1), 有的透明无色, 有的呈白、浅灰、浅黄、红等颜色, 一般无光泽。

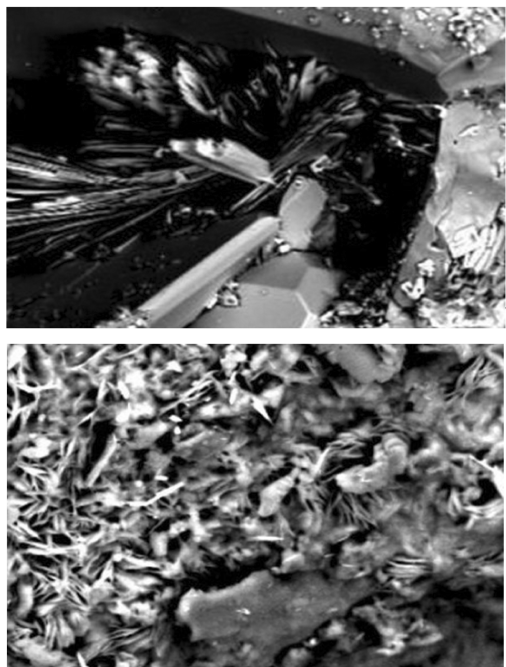


图 1 岩盐中杂卤石的结构特征

Fig. 1 The structural features of polyhalite in salt rock

2.2 杂卤石产状

杂卤石是更新统中的主要含钾矿物。其产状有两种: 一是呈灰色条带状、薄层状产出的杂卤石层, 杂卤石呈微晶纤维状, 见有石膏假象, 与石盐、石膏以及少量泥质物共生; 二是杂卤石质石盐层。杂卤石的微晶集合体呈白色、灰白色的斑点、团块状, 与石盐共生, 偶见白钠镁矾。杂卤石具薄片状、纤维束状和放射状。这两种杂卤石一般相邻出现, 即石膏石盐质杂卤石层向上过渡为杂卤石质石盐层。

2.3 杂卤石岩特征

野外钻探揭示沉积物中杂卤石含量差别很

大, 为 $2\% \sim 80\%$ 。根据不同含量将杂卤石矿石类型划分为 4 种: ①含粘土的杂卤石岩、含石盐的杂卤石岩, 其杂卤石含量超过 75% ; ②粘土质杂卤石岩、石盐质杂卤石岩和芒硝质杂卤石岩, 其杂卤石含量 $50\% \sim 75\%$; ③杂卤石质石盐岩、杂卤石质粘土和杂卤石质泥岩, 其中杂卤石含量 $25\% \sim 50\%$; ④含杂卤石的石盐岩、含杂卤石的芒硝、含杂卤石的粘土和含杂卤石的泥岩, 杂卤石含量在 25% 以下。

3 杂卤石矿层分布特征

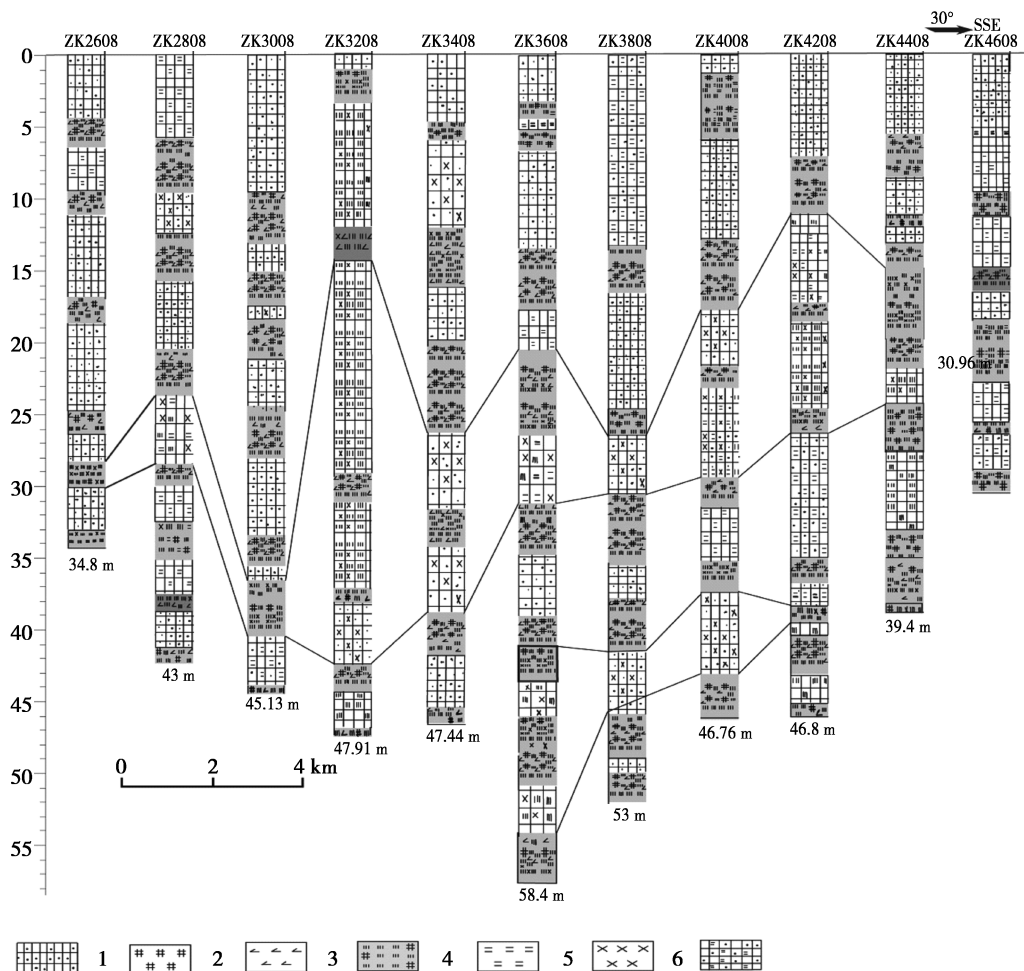
大盐滩杂卤石矿层分布与矿区地形紧密相关, 在平面上呈近似葫芦状。在剖面上, 杂卤石分布区呈不对称的扁透镜体, 重心偏向南部(ZK2308 附近, 图 2)。杂卤石埋深 $6 \sim 65\text{ m}$ 。矿层单层最大厚度达 12 m , 最小 0.3 m , 矿层累计最大厚度为 18.1 m , 出现在 ZK3610 处。钻孔岩芯化学分析结果揭示了 K_2SO_4 品位在 $2.43\% \sim 8.78\%$ 之间, 平均 3.95% 。含盐系地层具有明显的韵律性, 这反应了古盐湖卤水含盐度的周期性变化和气候的干湿交替。

3.1 矿层厚度分布特征

钻孔资料显示, 杂卤石累计厚度在 $1 \sim 16\text{ m}$ 之间, 从杂卤石累计厚度分布趋势图(图 3)可以看出, 杂卤石在盆地中呈葫芦状分布, 长轴成 NW 向展布。在区内杂卤石明显分出 2 个大中心区和 1 个小中心区, 其中大中心区分布于葫芦中下部, 此处累计厚度及面积皆最大, 在其北部有 1 个小中心区, 即 ZK3208 处为一个小小中心区。

3.2 分布面积

从杂卤石累计厚度分布趋势图求得分布面积(图 3, 表 1)可以看出, 大盐滩杂卤石分布区面积为 302 km^2 , 杂卤石厚度在 2 m 以下的矿层面积达 132 km^2 , 占了总分布面积的近一半; 厚度在 8 m 以上的矿层分布面积约占总面积的 $1/6$; 其余各厚度区间矿层面积较均匀, 矿层厚度与其面积并无相关联系。



1 - 含粉砂的石盐层;2 - 石盐;3 - 石膏;4 - 含石盐的淤泥或粘土层;5 - 芒硝;6 - 杂卤石;7 - 含粉砂芒硝的石盐层

图 2 大盐滩杂卤石在 NNW-SSE 地层剖面中的分布特征

Fig. 2 Distribution of polyhalite in NNW-SSE trending section in Kuntay Salt Lake

表 1 大盐滩杂卤石分布面积

Table 1 The distribution area of polyhalite in Kuntay Salt Lake

累计厚度/m	0 ~ 2	2 ~ 4	4 ~ 6	6 ~ 8	8 ~ 10	10 ~ 18	合 计
面积/ $\times 10^6 \text{ m}^2$	132	62	32	22	26	24	302

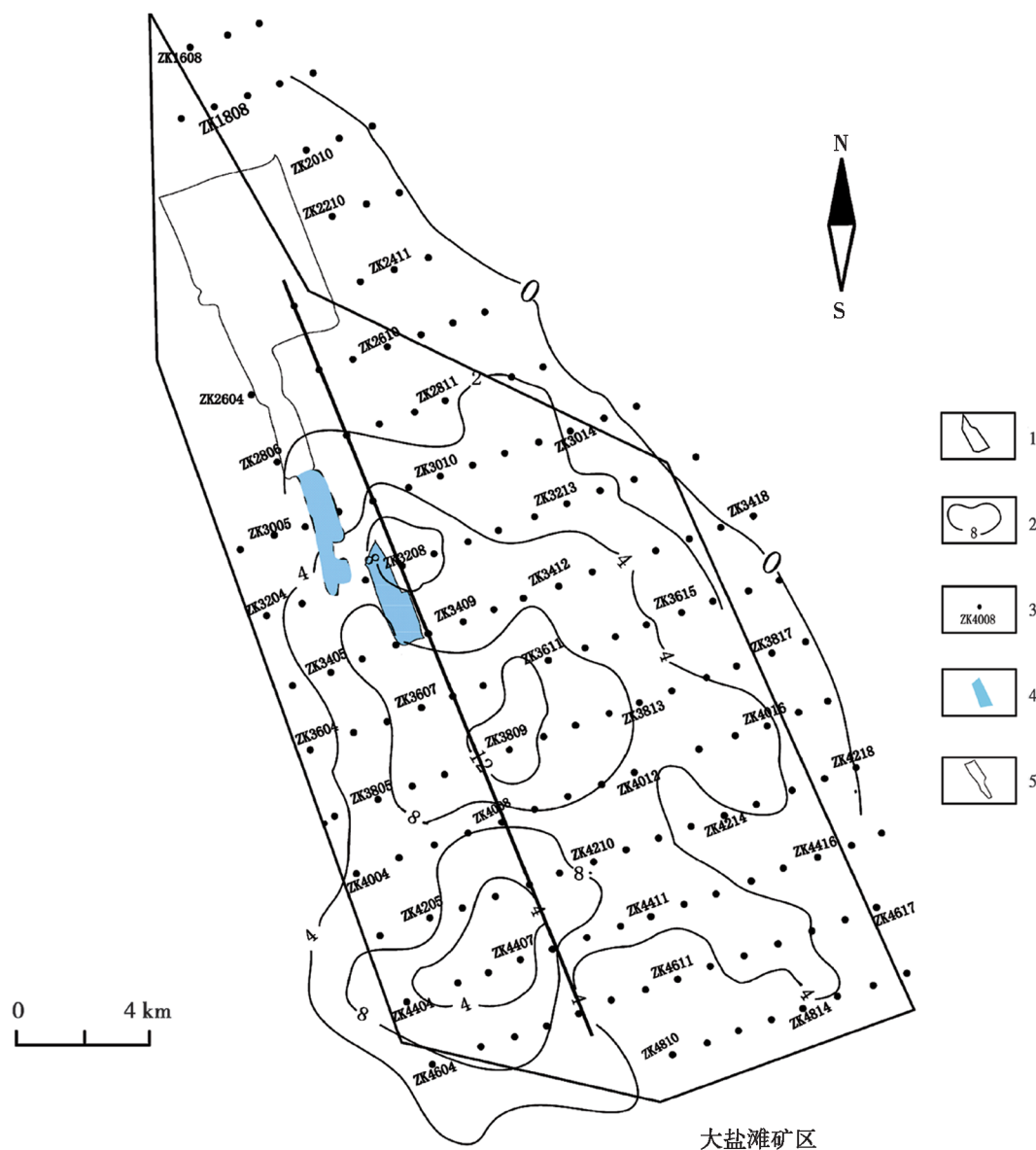
4 杂卤石成因讨论

在一系列蒸发试验和工艺试验中,一定成分的卤水(MgSO_4 、 KCl 、 CaSO_4 的溶液)是可以产生杂卤石沉淀的,但海水的蒸发试验却从未得到足量的杂卤石沉淀,这与钾盐矿床实际资

料不一致。范特—霍夫试验表明,含 K、Mg 组分较高的浓卤水和硬石膏接触可以将硬石膏转变为杂卤石。瓦里亚什科认为^[15],杂卤石可直接从溶液中结晶,或先析出石膏,而后在成岩作用影响下转变为杂卤石,后者可能性更大一些。瓦里亚什科在海水蒸发到 KCl 开始沉淀时加入 CaSO_4 或 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 的溶液,再继续蒸发可得到杂卤石,但卤水成分点必须控制在很小的范

围内,离开此范围就只能得到石膏。其结论是,在变质海水中不能析出杂卤石,更大的可能性是原来沉积的石膏经早期成岩作用变化而成。无论是原生沉积还是成岩作用形成杂卤石都必须有 Ca^{2+} 的进入,此所谓卤水的逆变质作用。

王弭力^[1]认为,在下面两种情况下才可能出现杂卤石沉淀:第一,在硫酸钙沉积阶段,外来补给带来足够的钾镁元素;第二,在硫酸钾镁盐沉积阶段,外来补给足够的钙元素。



1 - 普查报告圈定的杂卤石范围;2 - 杂卤石厚度等值线;3 - 钻孔;4 - 灌卤盐田;5 - 未灌卤盐田

图 3 大盐滩杂卤石累计厚度分布

Fig. 3 The cumulative thickness distribution of polyhalite in Kuntay Salt Lake

目前世界各国已发现和开发的杂卤石矿床成因各不相同。德国施塔夫斯特矿床成因是后生交代的,即成岩作用以后经外来溶液的交代作用而形成的。美国新墨西哥州德拉韦盆地中的杂卤石矿床则是准同时交代的产物,即自析

盐湖中较早沉淀的盐类与进一步浓缩的卤水起反应而发生的交代作用,也就是较早沉淀的硬石膏或石膏与继续浓缩而含 K^+ 、 Mg^{2+} 的较高的浓卤水反应而形成的杂卤石交代了硬石膏,这也被范特—霍夫的试验所证明^[16-17]。四川

盆地农乐地区三叠系杂卤石产于硬石膏层中。李亚文等^[18]在实验研究的基础上分析认为,成岩作用中盐层遭受来自石膏层溶液的溶滤,在石膏层较厚、盐层较薄的层段,石盐和钾镁盐可全部被溶掉,形成对 NaCl 及 K、Mg 盐均不饱和的液体;这种对易溶盐类不饱和的液体进入石膏层,部分 K、Mg 组分就能与 CaSO_4 (硬石膏) 结合生成杂卤石被保留下来,形成现在所看到的硬石膏—杂卤石—硬石膏剖面。黄宣镇^[2]提出两种看法:第一,浅水盆地中的残余卤水与石膏发生同生交代作用;第二,膏坪汇流水与残余浓缩卤水混合蒸发沉积。同属于第四纪陆相蒸发岩盆地的罗布泊盐湖,其杂卤石是在石盐沉积之前,与大盐滩杂卤石析出于石盐沉积之后不同。刘成林等^[5]认为其成因主要有两种:第一种是杂卤石交代钙芒硝,并占主要形式;第二种是杂卤石交代石盐及钠镁矾,并沉积于石盐等粒晶的孔隙中。

由上述可见,国内外杂卤石主要由富钾镁卤水交代石膏及硬石膏形成^[19],也可能存在不同水体的混合掺杂作用。大盐滩沉积有其特殊性,其杂卤石的成因也具有独特性。如罗布泊盐湖在沉积演化过程中一直受到富钙水的大量补给^[20],并沉积了世界罕见的巨量钙芒硝矿,导致卤水中钾元素聚集成矿^[21-23];同时,补给罗布泊的河水相对富含硫酸根^[24-25]。而大盐滩矿区东、南、西三面为相对阻水的第三系丘陵构造所环绕,丘陵海拔 2 800 ~ 3 200 m,形成了三面封闭的单斜盆地,具有良好的封闭条件;加之气候干旱,海拔高,水系极不发育,整个矿区径流特征在高山深盆、封闭的地质、干旱的气候条件控制下表现为无外泄的闭流。

关于杂卤石的析出形式,从大盐滩杂卤石的赋存状态和显微结构分析,主要有两种,分别产于石盐层和淤泥或粘土层中。第一种赋存于石盐层中的杂卤石呈薄层状、似层状产出,大盐滩杂卤石大多数属于此类,属于准同时交代的产物;当石膏和石盐沉淀后,盆地中 K、Mg 含量增高,比重较大,就向下沉降到已经沉淀了的硬石膏和石盐的晶间孔隙中,在这里浓卤水和硬石膏反应生成杂卤石,并交代了硬石膏或结晶在石盐孔洞中;几乎同时,因石膏脱水而向上移

动,当它进入表面卤水层就与 K、Na 等元素组成杂卤石而沉淀下来成为薄层或微层^[26]。第二种是出产于淤泥或粘土层中的薄层状杂卤石。在地质历史发展过程中,气候总趋势是干旱单向发展,但也有过干旱向湿润的交替阶段,加之区域构造的震荡性,使湖盆卤水的补给条件也发生相应变化。在构造活动较为剧烈的升降期,外界水体携带剥蚀的碎屑物补给湖盆,湖盆内沉积以碎屑沉积为主。由于钾易被粘土物质(淤泥、粘土、土壤)吸附,当进一步浓缩的卤水与粘土中的钾作用便以杂卤石的形式沉积下来,所以在碎屑沉积层中的杂卤石具有明显的原生沉积的特征,这也是为什么碎屑物含量高的层段,钾含量也高;碎屑物沉积少的层段,钾含量低^[27]。最后,由于本区内油田水广泛分布,冷湖三号、四号,以及北部新盐带—钾湖地区浅部地下水受到沿断裂上升的油田水的补给影响,大盐滩内部富钾卤水中微量组分锶和碘含量明显高于柴达木其它盐湖的卤水或晶间卤水,其是否也受到第三系油田水的影响,由于研究所限尚不能断定。

5 结 论

大盐滩杂卤石主要分布于矿区中南部,面积约 302 km²。杂卤石主要产出于石盐粒晶间及淤泥或粘土层中,呈薄层状分布,埋深 12 m ~ 65 m。杂卤石在盆地中呈葫芦状分布,长轴呈 NW 向展布。在区内杂卤石明显分出 2 个大中心区和 1 个小中心区,其沉积中心与湖盆汇水中心大致重合。矿层单层最大厚度达 12 m,最小 0.3 m,矿层累计最大厚度为 18.1 m。关于杂卤石的成因,由图 3 可以看出,累计厚度分布曲线与盐湖区域沉积一致,可以作为杂卤石沉积成因的证据。卤水自盆地边缘向汇水中心(ZK3208 孔附近)浓缩,各种组分富集,由于湖盆结构的不对称性,决定了浓缩方向的不对称性,进而导致杂卤石沉积的不对称性。

参考文献:

- [1] 王弭力. Q 凹陷杂卤石的地质意义[J]. 地质论评, 1982, 28(1): 28-37.

- [2] 黄宜镇. 中国首例杂卤石矿床[J]. 云南地质, 1996, 15 (1): 52 - 61.
- [3] 刘群, 陈郁华, 李银彩, 等. 中国中、新生代陆源碎屑—化学岩型盐类沉积[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1987, 23.
- [4] 赵德钧, 韩蔚田, 蔡克勤, 等. 大汶口凹陷下第三系含盐段杂卤石的成因及其找钾意义[J]. 地球科学, 1987, 12 (4): 349 - 356.
- [5] 刘成林, 王弭力, 焦鹏程, 等. 罗布泊杂卤石沉积特征及成因机理探讨[J]. 矿床地质, 2008, 27 (6): 705 - 713.
- [6] Zhao X, An L, Liu N, *et al.* Laboratory Simulation of In-situ Leaching of Polyhalite[C]//Procedia Earth and Planetary Science, 2011, 2, 50 - 57.
- [7] 安莲英, 刘宁, 殷辉安, 等. 杂卤石矿地浸模拟实验研究[J]. 矿物岩石, 2007, 27 (2): 112 - 115.
- [8] 郝丽芳. 杂卤石盐浸过程工艺条件的优化研究[J]. 盐湖盐与化工, 2005, 34 (3): 19 - 20.
- [9] 安莲英, 殷辉安, 唐明林, 等. 溶浸开采深埋藏杂卤石可行性及溶浸动力学模拟[J]. 地质学报, 2010, 84 (11): 1690 - 1696.
- [10] 王弭力, 杨智琛, 等. 柴达木盆地北部盐湖钾矿床及其开发前景[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 13 - 17.
- [11] 韩凤清, 黄麒, 王克俊, 等. 柴达木盆地昆特依盐湖的地球化学演化与古气候变化[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26 (5): 502 - 508.
- [12] 魏新俊, 邵长铎, 王弭力, 等. 柴达木盆地西部富钾盐湖物质组分、沉积特征及形成条件研究[R]. 北京: 中国地质大学, 1990: 45 - 61.
- [13] 保守君. 青海省冷湖镇昆特依矿田大盐滩钾矿床详查报告[R]. 西宁: 青海省地质矿产勘查院, 2002.
- [14] 黎成忠, 李波, 李正焕, 等. 青海省冷湖镇昆特依矿田普查报告[R]. 1990.
- [15] 袁见齐. 国外杂卤石资料简介. 化工矿山技术, 1974 (6): 47 - 58.
- [16] Valyashko M G. Geochemical regularity for the formation of potash deposits [M]//Fan L, *et al.* translated. Beijing: China Industrial Press, 1965: 144.
- [17] 袁见齐. 钾肥与钾盐矿床[M]. 北京: 化学工业出版社, 1975.
- [18] 李亚文, 韩蔚田. 四川盆地三叠系杂卤石形成条件的实验研究[J]. 现代地质, 1987, 1 (3 - 4): 102 - 113.
- [19] Peryt, T M, Tomassi-Morawiec H, Czapowski G, *et al.* Polyhalite occurrence in the Werra (Zechstein, Upper Permian) Peribaltic Basin of Poland and Russia: evaporite facies constraints[J]. Carbonates and Evaporites, 2005, 20 (2): 182 - 194.
- [20] Ma L, Lowenstein T K, Li B, *et al.* Hydrochemical characteristics and brine evolution paths of Lop Nor Basin, Xinjiang Province[J]. Western China Applied Geochemistry, 2010, 25 (11): 1770 - 1782.
- [21] 刘成林, 焦鹏程, 王弭力, 等. 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, 2003, 22 (4): 386 - 392.
- [22] 刘成林, 陈永志, 陈伟十, 等. 罗布泊盐湖更新世晚期沉积钙芒硝包裹体特征及古气候意义探讨[J]. 矿物学报, 2006, 26 (1): 94 - 98.
- [23] 刘成林, 焦鹏程, 王弭力, 等. 罗布泊盐湖巨量钙芒硝沉积及其成钾效应分析[J]. 矿床地质, 2007, 26 (3): 322 - 329.
- [24] 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.
- [25] 刘成林, 焦鹏程, 王弭力, 等. 新疆罗布泊第四纪盐湖上升卤水流体及其成钾意义[J]. 矿床地质, 2003, 22 (4): 386 - 392.
- [26] 林耀庭, 尹世明. 四川渠县浅层杂卤石矿分布特征及其成因和意义[J]. 四川地质学报, 1998, 18 (2): 121 - 125.
- [27] 胡文瑄. 利用盐层中碎屑沉积物粒度分布特征鉴别干盐湖沉积层序[J]. 沉积学报, 1991, 9 (2): 71 - 77.

Sedimentary Characteristics and Origin of Polyhalite of Kuntay Salt Lake Mine in Qaidam Basin

LIU Zhu^{1,2}, GAO Dong-lin¹, LI Bin-kai¹, YUAN Xiao-long¹, WANG Ming-xiang¹, LI Bao-lan^{1,2}

(1. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China)

Abstract: Kuntay Salt Lake is a secondary fault basin in northwest Qaidam, and the Kuntay Salt Lake mine is located in it. Brine potash deposits are rich in the Kuntay Salt Lake mine. At the same time, considerable reserves of solid potash are deposited in the mine. Polyhalite which was the primary solid potash mineral and mainly distributed in central and southern of the mine had an area of 302 km² and embedded

depth of 12 m to 65 m. It mainly stored in crystalline grain halite or clay layer and distributed in thin layer. Based on drilling core chemical analysis results, the K_2SO_4 grades between 2.43% and 8.78%, the average is 3.95%. The paper preliminary discussed the causes of different occurrences of the polyhalite, and two possibilities causes were speculated. During the salt lake deposit, when the gypsum and halite were deposited, the reaction of high concentrations brine and anhydrite generated polyhalite, and replaced the anhydrite or crystallized in halite holes. In the dramatic lifting period of tectonic movement, as the potassium is easily absorbed by clay material, when the further concentrated brine react with the clay, potassium will be deposited in the form of the polyhalite, and such polyhalite has significant primary sedimentary characteristics. In short, Kuntay Salt Lake solid potash resources have high potential of mineralization. Finding out their causes and distribution can provide theoretical support for the development of Kuntay Salt Lake solid potassium mineral.

Key words: Kuntay salt lake; Polyhalite; Solid potash; Causes

(上接第 21 页)

[47] 鄱阳湖研究委员会. 鄱阳湖研究[M]. 上海:上海科技出版社, 1987:63-69.

[48] Xu X, Zhu M. Changes in the vegetation and environment in the Zhenjiang region since 15,000 years ago[J]. Acta Geo-

graphica Sinica, 1984, 39: 277-284.

[49] An Z, Porter S C, Kutzbach J E, *et al.* Asynchronous Holocene optimum of the East Asian monsoon[J]. Quaternary Science Reviews, 2000(19): 743-762.

Variation of Elements in Sedimentary and Paleoenvironment Indicators during the Last 8 000 Years in Taihu Lake

WU Yong-hong¹, ZHEN Xiang-min², ZHOU Li-min²

(1. The Geography Science Department of Minjiang University, Fuzhou, 350108, China;

2. The Geography Department of East China Normal University, Shanghai, 200062, China)

Abstract: Depending on the geochemical elements analyses of sediments in northern Taihu lake. We try to rebuild environmental change over the past 8 000 years. The evolution of sedimentary environments in Taihu lake can be divided into four stages: 1) 8.0 ~ 6.6 kyr BP, the warm and wet period; 2) 6.6 ~ 2.6 kyr BP, the deterioration and frequent fluctuations period; 3) 2.6 ~ 1.5 kyr BP, the warming period; 4) 1.5 ~ now, rapid deterioration of the climate. Two warm and wet period mentioned in present paper may instruct that there were two obvious enhanced of the East Asian monsoon during 8 000 years, which led to the two distinct high-water period of lakes in the Yangtze River during the Holocene.

Key words: Taihu lake; Geochemical elements; Paleoenvironment