

柴达木盆地西部大浪滩梁中矿区软钾镁矾 沉积的矿物组合特征

樊启顺 程怀德 冉广芬

(中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008)

摘 要:柴达木盆地西部大浪滩梁中矿区是一个以液体钾矿为主、固液并存的大型钾镁盐矿田。通过对梁中矿区大浪滩凹地钾镁盐矿点实地考察,以兴元钾肥厂开挖的固体钾盐(软钾镁矾、钾石盐和杂卤石等矿物)剖面为研究载体,采集73件固体盐样。通过XRD矿物组成分析,发现梁中凹地盐类呈石盐+泻利盐—石盐+泻利盐+软钾镁矾—石盐+泻利盐+钾石盐—石盐+钾石盐+光卤石—石盐+水氯镁石矿物组合变化。其中,在Ⅱ阶段(5.3~2.6 m)沉积了层状的固体钾盐矿物(包含软钾镁矾、钾石盐和光卤石)。地层中沉积的软钾镁矾,结晶良好。通过对比分析认为,软钾镁矾的形成条件:1)外来水体的混入,溶滤了地表盐滩中可溶性钾;2)(全新世)相对较高的温度条件,芒硝等矿物的溶解,会使湖表卤水中硫酸盐含量明显增加,卤水组成点易落在25℃介稳相图的白钠镁矾相区,有利于软钾镁矾结晶析出;3)干旱的气候条件。

关键词:大浪滩盐湖;软钾镁矾;矿物组合

中图分类号:P619.211

文献标识码:A

文章编号:1008-858X(2014)03-0009-06

引 言

硫酸钾镁肥作为一种常用的无氯钾肥,是很理想的农用肥料。软钾镁矾(化学式为 $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$)是一种含钾、硫、镁的复盐,是硫酸钾镁肥的主要品种。以往研究表明,利用硫酸盐型盐湖卤水可以加工制取软钾镁矾矿物^[1-5]。同时,学者们对软钾镁矾钾盐矿物热行为^[6]、溶解动力学^[7]和结晶特性^[8-9]也进行了研究。

柴达木盆地分布有众多的硫酸盐型盐湖^[10]。地质勘查表明,在柴达木盆地西部,从渐新统至上新统均见不同厚度的石膏、钙芒硝、石盐沉积^[11]。古岩盐巨厚^[12],古卤水发育,且已出露的油田卤水普遍富钾^[13-15],揭示地层中可能有固体钾盐沉积。近几年,通过石油和地质部门的勘查,在柴达木盆地西部大浪滩盐湖梁中矿

床大浪滩凹地(图1),发现埋深8~10 m以下沉积有层状的含钾硫酸盐固体钾盐(图2)(主要是软钾镁矾矿,并伴生有钾石盐和石盐)。因此,本项目选择7.3 m厚的岩盐地层为研究载体,通过对大浪滩梁中凹地具有原始沉积特征的软钾镁矾及伴生的盐类矿物进行分析,探讨研究区软钾镁矾钾盐沉积的矿物组合特征,阐述大浪滩软钾镁矾钾盐矿床的形成条件。

1 区域地质背景及矿区地质特征

1.1 区域地质背景

柴达木盆地位于青藏高原北部,四周被昆仑山、阿尔金山和祁连山所包围,大致呈一个不规则菱形区带。盆地东西长850 km,南北宽150~300 km,面积为 $12.1 \times 10^4 km^2$ 。柴达木盆地在海西造山运动以前,是横贯欧亚大陆南

收稿日期:2013-12-31;修回日期:2014-01-16

基金项目:青海省自然科学基金应用基础研究基金(2010-Z-715)资助

作者简介:樊启顺(1980-),男,副研究员,主要研究方向为盐湖演化及成盐成矿地球化学。

部的古特斯海的组成部分。自海西运动以来,柴达木地块经历了多次造山运动,每次造山运动不仅使柴达木地块脱离海相环境,而且加剧了盆地边缘深大断裂(带)的活动。直到中生代末—新生代初以后,板块强烈俯冲,四周山体不断抬升,中央凹陷盆地主体形成,盆地西部逐渐形成“高山深盆”的沉积环境^[16],为盆地带来了大量的盐类与碎屑物质。大浪滩盐湖各时期盐类矿物的形成,也受各期地质运动所控制^[17]。在上新世时期,四周山区显著隆起,盆地西部基底运动由沉降转为抬升,使柴达木古湖解体为东、西两个大的湖盆。西部湖盆由于

基底的不断抬升,缺乏东部河水的补给,造成在上新世出现了盐湖区,尤其是后期的大量盐类沉积。上新世末期强烈的构造运动,使第三系普遍褶皱隆起,古湖盆隆升而且被分割,盐湖区扩大,矿区内的中、下更新统普遍含有大量的石盐、石膏、芒硝和白钠镁矾等盐类沉积。到中更新世末期的强烈构造运动,褶皱进一步隆起,尤以盆地西部更为明显,使湖盆进一步分割缩小,形成了现在区内的构造格局,即轴向为NWW—NW向雁列式排列的背斜构造及向斜凹地。在向斜凹地及拗陷中沉积了上更新统和全新统的盐类沉积^[17]。

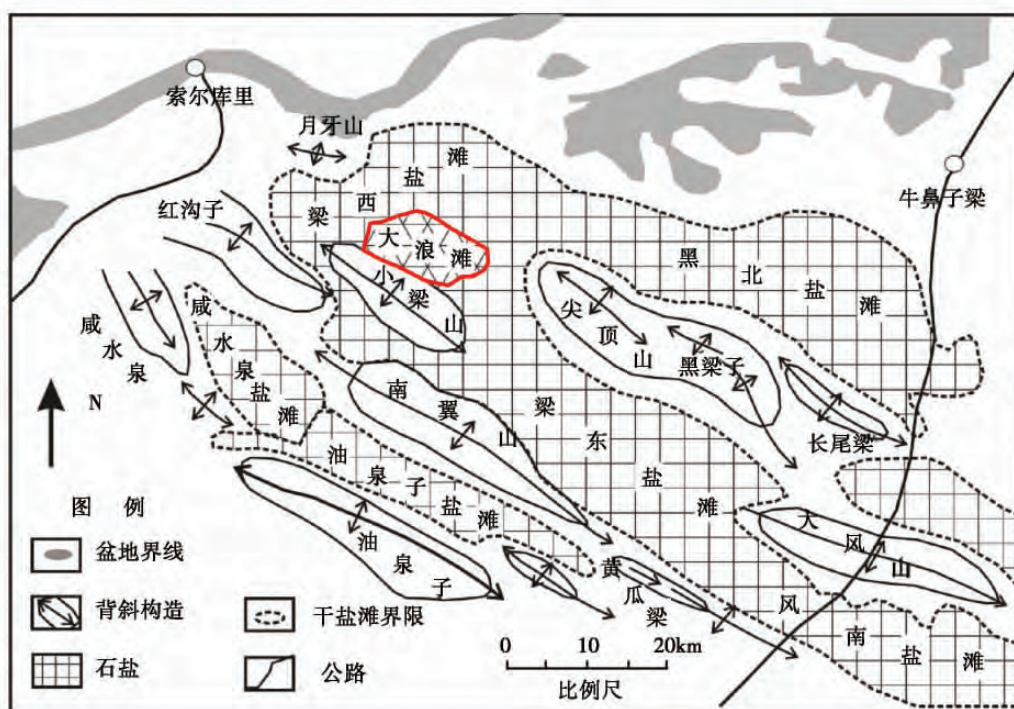


图 1 柴达木盆地西部大浪滩盐湖概略图

Fig. 1 The map of Dalangtan Salt Lake in western Qaidam Basin

1.2 大浪滩梁中矿区地质特征

大浪滩钾镁盐矿田位于柴达木盆地西部,属青海省海西蒙古族、藏族自治州茫崖镇管辖。大致呈北西—南东向延伸,面积为8 800 km²。该矿田分为梁中矿床、双泉矿床、风南矿床、黄瓜梁矿床及黑北矿点和风北矿点^[17]。大浪滩梁中矿床(包括梁西、大浪滩、梁南、梁东等凹地)是一个以液体钾矿为主、固液并存的大型

钾镁盐矿田。固体矿产以石盐为主,其次为可溶性钾镁盐(软钾镁矾、钾石盐和光卤石)。液体矿产中有KCl、MgCl₂、MgSO₄和NaCl等^[18]。可溶性固体钾矿主要分布在梁中矿床大浪滩凹地,按矿层产出层位自下而上可分为7层。其中,1~2层钾矿产于中更新统地层中,埋深大,分布面积小,品位较低,不具有工业意义。3~5层钾矿产于全新统中下部,分布面积较小,品位较低,经济意义不大。6~7层钾矿产于全新统

上部,品位高,具有工业意义^[17]。这部分矿产总体上具有分布集中、品位较高、埋藏浅、易开发的特点。

2 采样剖面及样品分析

地质勘查表明,在柴达木盆地西部大浪滩盐湖梁中矿床大浪滩凹地(图1),发现埋深8~10 m以下沉积有层状含钾硫酸盐固体钾盐(图2,主要是软钾镁矾矿,并伴生有钾石盐 and 石盐晶体),结晶良好,含钾品位高。2011年,在大浪滩盐湖大浪滩凹地野外考察,这里兴元钾肥厂已经开挖软钾镁矾钾盐,进行加工制取钾肥。从已开挖的矿层选择两个断面(图2A中a和b),以中间沉积的层状软钾镁矾层(图2B)为标准,把两个断面合成一个剖面(XY-1)(38°31.294'N, 91°25.028'E),深度为7.3 m。从上到下以10 cm间距采集73件固体盐样,分析了这些样品的矿物组成。所有的样品测试都在中国科学院盐湖研究所分析测试部用X'Pert PRO 固定靶X射线衍射仪完成。

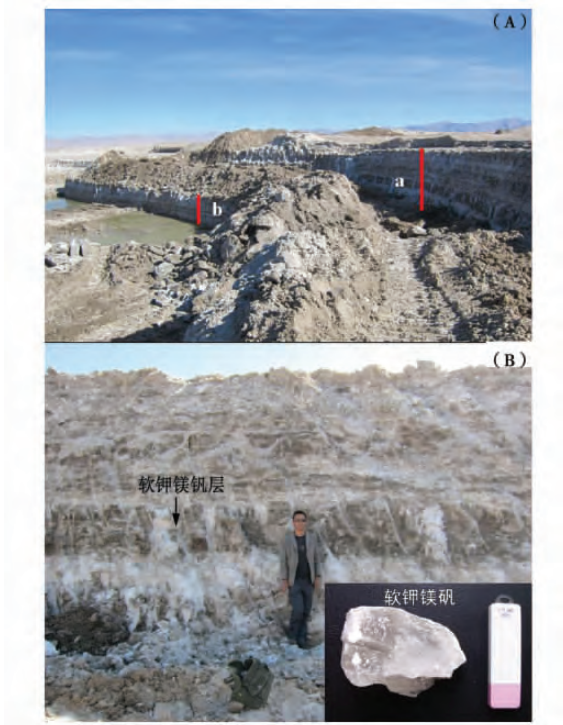


图2 柴达木盆地西部大浪滩梁中矿区软钾镁矾沉积剖面

Fig.2 The profile of picromerite from Dalangtan Salt Lake in western Qaidam Basin

3 XY-1 剖面盐类矿物组成分布

矿物分析结果表明(图3),XY-1剖面盐类矿物主要由石盐组成。在整个剖面中,几乎都包含有杂卤石。根据不同层位盐类矿物组合变化特征,剖面自下而上可以划分为3个阶段。

I阶段(7.3~5.3 m) 主要由石盐矿物组成,并含有少量的泻利盐、钾石盐、光卤石和水氯镁石。总体来说,石盐在不同深度没有明显的变化,含量达到40%~80%。泻利盐从下到上含量逐渐减少,且在个别层位析出钾石盐、光卤石和水氯镁石。其中,在I阶段的底部7.2~7.3 m析出光卤石,7.1~7.3 m析出钾石盐;在I阶段的上部5.8 m析出光卤石,5.7 m析出钾石盐,5.9 m析出少量的水氯镁石。

II阶段(5.3~2.6 m) 主要由石盐、泻利盐、钾石盐和光卤石组成,并包含有4层软钾镁矾矿物。总体来说,石盐含量明显比I阶段减少,而固体钾盐矿物含量明显增多。尤其在II阶段的中上部析出大量的钾石盐和光卤石,是兴元钾肥厂开采制取钾肥的浅层钾盐矿物。如果以析出的钾盐含量的高低变化,II阶段可以划分为两个亚层(IIa和IIb)。IIa层(5.3~4.1 m)是可溶性钾盐矿物大量析出的层位。在5.1 m和4.8 m处析出25%~30%的软钾镁矾。在4.6~5.3 m析出钾石盐,含量在16%~37%之间变化;在4.4~4.7 m析出光卤石,含量在12%~18%之间变化。同时,在4.2~4.5 m析出杂卤石,含量在18%~24%之间变化。总体来看,在IIa层首先析出软钾镁矾和钾石盐,之后析出了光卤石。IIb层(4.1~2.6 m)也是可溶性钾盐矿物大量析出的层位。在3.7~4.1 m析出软钾镁矾,含量在13%~74%之间变化,最高值在4.1 m处含量达到74%,之后软钾镁矾含量逐渐减少。在2.7~4.0 m析出钾石盐矿物,含量在6%~45%之间变化;尤其在3.6~4.0 m含量较高,达到17%~40%;在2.7~3.3 m含量为6%~24%,逐渐减少。在2.7~3.6 m析出光卤石,含量在9%~23%之间变化;高值出现在3.2~3.6 m,含量为11%~23%;低值出现在2.7~

3.1 m, 含量为 9% ~ 14%。总体来看, 在 II b 层首先析出软钾镁矾和钾石盐, 之后析出了光卤石。另外发现, 随着软钾镁矾含量的减少, 钾石盐逐渐增加 (3.6 ~ 4.0 m); 从 3.6 m 以上钾石盐含量逐渐减少, 而光卤石逐渐增加 (3.2 ~ 3.6 m)。

III 阶段 (2.6 ~ 0 m) 主要是由石盐组成, 并包含有少量的光卤石; 与 I 和 II 阶段相比, 最为明显的特征就是析出大量的水氯镁石。水氯镁石是盐湖演化到晚期时析出的盐类矿物。从 2.6 m 至剖面顶部, 水氯镁石呈现波动中增加的趋势, 说明大浪滩凹地盐湖卤水干涸, 在缺少外来水体补给的情况下, 盐湖析盐终结。

从这 3 个阶段盐类矿物组合分布来看, I 阶段析出大量石盐, 且石盐含量逐渐增加, 说明盐湖处于石盐析出阶段。到 II 阶段, 石盐含量明显减少, 大量的固体钾盐矿物析出, 包括软钾镁矾、钾石盐和光卤石, 且呈逐渐增加的一个趋势。到 III 阶段, 钾盐矿物明显减少, 仅在 0 ~ 1.3 m 处析出少量的光卤石, 地层中没有析出软钾镁矾和钾石盐, 但在地层中发现大量水氯镁石矿物析出, 从下到上总体呈增加趋势。从 XY-1 剖面矿物分布整体来看, 矿物组合分布特征显示了正向析盐序列, 符合硫酸盐型盐湖的析盐规律。

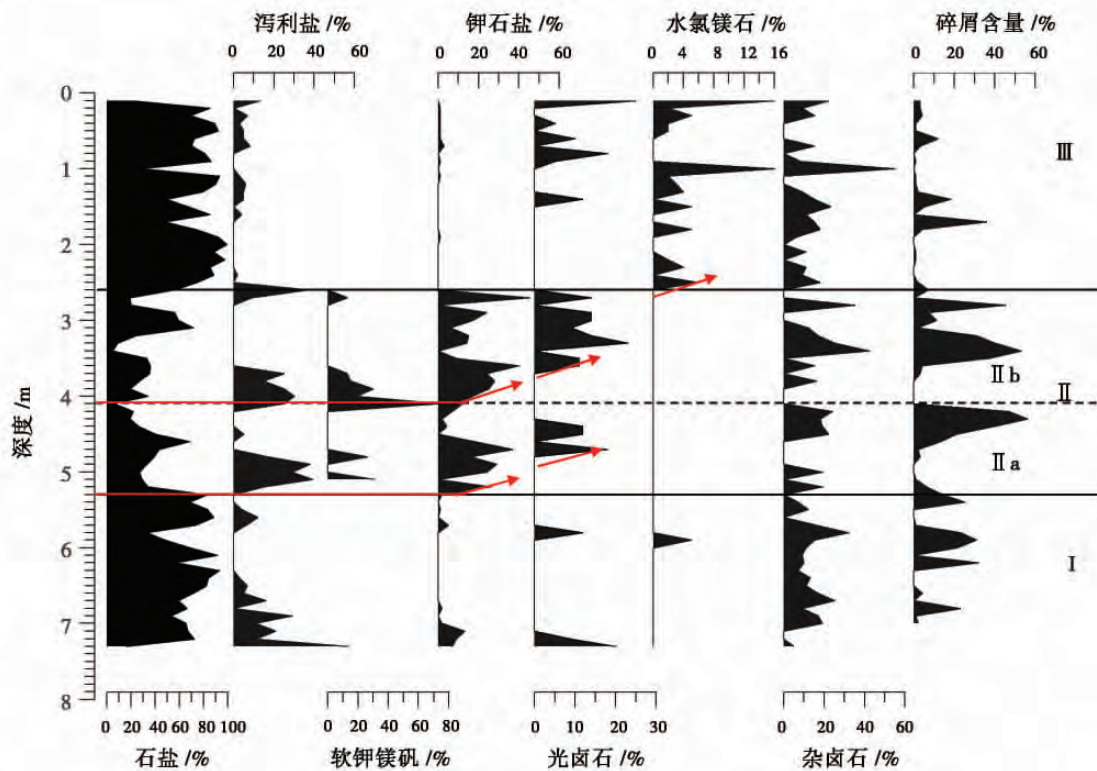


图 3 XY-1 剖面盐类矿物组合分布

Fig. 3 The assemblage of salt minerals in the XY-1 profile

4 软钾镁矾钾盐形成条件

软钾镁矾 (化学式为 $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$) 是一种含钾、硫、镁的复盐, 是硫酸钾镁肥的主要品种。XY-1 剖面矿物分析表明, 在 II 阶段 2.6 ~ 5.2 m 沉积了 4 层软钾镁矾, 含量在

13% ~ 74% 之间。其中, 在 3.7 ~ 4.1 m 沉积了厚度为 0.5 m 层状软钾镁矾, 尤其在 4.1 m 处沉积的软钾镁矾含量达到 74%, 结晶良好。通过离子含量分析, K^+ 含量为 19.19%, Na^+ 为 0.36%, Ca^{2+} 为 0.037%, Mg^{2+} 为 6.02%, Cl^- 为 0.77%, SO_4^{2-} 为 47.27%; 软钾镁矾含钾品位高, 目前已被企业开采制取钾肥。从 II 阶段

的两个亚层可以看出,每个亚层都析出有石盐、石盐+泻利盐、石盐+泻利盐+钾石盐、石盐+光卤石这样的成盐序列,符合硫酸盐型盐湖蒸发浓缩析盐过程^[19]。但如果从两个亚层析盐序列来看,Ⅱa中析出软钾镁矾、钾石盐和光卤石之后,随着碎屑沉积物的混入,在Ⅱb中再次析出软钾镁矾、钾石盐和光卤石,中间有一个逆向析盐过程。因此,我们有必要从沉积、矿物组合和化学机理几个方面探讨软钾镁矾形成条件。

从XY-1剖面Ⅱ阶段钾盐矿物和碎屑沉积对比来看,地层中高含量的碎屑沉积对应于高含量的杂卤石沉积;软钾镁矾、钾石盐和光卤石析出的层位,明显缺少碎屑沉积物和杂卤石;软钾镁矾析出的盐层底部都沉积有大量的碎屑沉积物。以往的地质资料表明,在大柴旦盐湖地层中沉积了软钾镁矾,矿物含量为0.6%~13.6%,其底部都沉积了粉砂和粘土等碎屑沉积物;同时,软钾镁矾与石盐、芒硝、石膏和卤泥等矿物伴生^[19]。

通过对比发现,1)大浪滩凹地和大柴旦盐湖地层中,软钾镁矾的析出与底部沉积的碎屑沉积有一定的关联。可以推断高含量的碎屑沉积物可能显示有大量水体注入到大浪滩凹地,这些水体的注入溶解了地表盐滩中可溶性钾,并富集到低洼的地方,为钾元素富集和钾盐矿物析出提供了充足的母液。

2)大浪滩凹地沉积的软钾镁矾地层中明显缺少芒硝和石膏等矿物,暗示了这些硫酸盐矿物在凹地外围被析出沉积。这个推测已经被野外的地质考察证实。2011年野外调查发现,在兴元钾肥厂软钾镁矾钾盐开采矿区之外沉积了大量的片状石膏和层状芒硝。

3)与大柴旦盐湖地层对比还发现,层状和高钾含量的软钾镁矾都沉积在浅层盐层。地质勘查表明,这些软钾镁矾都沉积于全新统地层中^[18]。全新世是距今最近的一个暖期,高温的气候条件,会使湖表卤水中硫酸盐含量明显增加,溶液组成点易落在25℃介稳相图的白钠镁矾相区,有利于软钾镁矾结晶析出^[19]。同时,高温的气候条件有利于芒硝的回溶,这也是XY-1剖面中缺少芒硝的主要原因。

4)软钾镁矾、钾石盐和光卤石析出的层位,明显缺少碎屑沉积物和杂卤石,这样的沉积特点和矿物组合表明,干旱气候条件加强了卤水的蒸发浓缩,为钾盐矿物的析出奠定了气候条件^[20]。

5 结 论

柴达木盆地西部大浪滩梁中矿区是一个以液体钾矿为主、固液并存的大型钾镁盐矿田。通过大浪滩梁中矿区大浪滩凹地钾镁盐矿点实地考察,以兴元钾肥厂开挖的固体钾盐(软钾镁矾、钾石盐和杂卤石等矿物)剖面为研究载体,采集73件固体盐样。通过XRD矿物组成分析发现,梁中凹地盐类矿物组合大致划分为3个序列变化。Ⅰ阶段(7.3~5.3 m),主要由石盐组成,并含有少量的泻利盐、钾石盐、光卤石和水氯镁石。Ⅱ阶段(5.3~2.6 m),主要由石盐、泻利盐、钾石盐和光卤石组成,并包含有4层软钾镁矾。总体来说,石盐含量明显比Ⅰ阶段减少,而固体钾盐矿物含量明显增多,尤其在Ⅱ阶段的中上部析出大量的钾石盐和光卤石。Ⅲ阶段(2.6~0 m),主要是由石盐组成,并包含有少量的光卤石;与Ⅰ和Ⅱ阶段相比,析出大量的水氯镁石。Ⅱ阶段地层中沉积的软钾镁矾,结晶良好,含钾品位高。通过对比分析,可以认定软钾镁矾的形成条件:1)外来水体的混入,溶滤了地表盐滩中可溶性钾,为钾元素富集和钾盐矿物析出提供了充足的母液;2)(全新世)相对较高的温度条件以及芒硝等矿物的溶解,会使湖表卤水中硫酸盐含量明显增加,卤水组成点易落在25℃介稳相图的白钠镁矾相区,有利于软钾镁矾结晶析出;3)干旱的气候环境加剧了卤水的蒸发浓缩,为钾盐矿物的析出进一步创造了条件。

致谢:中国科学院青海盐湖研究所高章洪研究员在项目给予指导和帮助,高级工程师杨波给予矿物分析和鉴定,在此一并致谢。

参考文献:

[1] 程怀德,马海州. 利用硫酸盐型盐湖资源制取软钾镁矾

- 的研究[J]. 盐业与化工, 2007, 37(3): 24-26.
- [2] 王长青, 宋彭生. 硫酸盐型盐湖卤水天然制取软钾镁矾[J]. 应用化学, 1991, 8(1): 28-32.
- [3] 王钟鸣, 谭光薰, 苏裕光. 由察尔汗盐湖卤水制取软钾镁矾的研究[J]. 成都科技大学学报, 1992, (62): 9-15.
- [4] 曹海英, 孙衍忠. 硫酸盐型卤水制取软钾镁矾的试验研究[J]. 化工矿物与加工, 2006, (8): 14-16.
- [5] 李刚, 吴景泉. 利用盐田钾镁混盐制取软钾镁矾的研究[J]. 盐湖研究, 1998, 6(2-3): 49-52.
- [6] 宋粤华, 夏树屏, 汪海东. 软钾镁矾复盐的热行为研究[J]. 盐湖研究, 1995, 3(1): 68-72.
- [7] 宋粤华, 夏树屏. 软钾镁矾溶解动力学 II: MgCl_2 对其溶解转化影响的研究[J]. 盐湖研究, 1995, 3(2): 45-50.
- [8] 张占良, 申春玲. 软钾镁矾结晶实验研究[J]. 内蒙古石油与化工, 2009, (22): 19-20.
- [9] 袁俊生, 韩荣敏, 刘燕兰, 等. 软钾镁矾在乙醇-水和甲醇-水混合溶剂中的结晶特性[J]. 过程工程学报, 2012, 12(4): 631-635.
- [10] 张彭熹. 柴达木盆地盐湖. 北京: 科学出版社, 1987: 32-233.
- [11] 沈振枢, 程果, 乐昌硕, 等. 柴达木盆地第四纪含盐地层划分及沉积环境[M]. 北京: 地质出版社, 1993, 4-6.
- [12] 郑绵平, 袁鹤然, 张永生, 等. 中国钾盐区域分布与找钾远景[J]. 地质学报, 2010, 84(11): 1523-1553.
- [13] 付建龙, 于升松, 李世金, 等. 柴达木盆地西部第三系油田卤水资源可利用性分析[J]. 盐湖研究, 2005, 13(3): 17-21.
- [14] 樊启顺, 马海州, 谭红兵, 等. 柴达木盆地西部卤水水化学特征与找钾研究[J]. 地球学报, 2007, 28(5): 446-455.
- [15] 樊启顺, 马海州, 谭红兵, 等. 柴达木盆地西部卤水特征及成因探讨[J]. 地球化学, 2007, 36(6): 601-611.
- [16] 袁见齐, 霍承禹, 蔡克勤. 高山深盆的成盐环境——一种新的成盐模式的剖析[J]. 地质论评, 1983, 29(2): 159-165.
- [17] 覃功平, 马林, 尚小刚. 大浪滩梁中浅部软钾镁盐矿的矿床特征与成因分析[J]. 中国工程科学, 2005, (7): 306-310.
- [18] 青海省柴达木综合地质矿产勘查院. 青海省茫崖镇大浪滩矿田梁中钾镁盐矿床地质概况[R]. 格尔木: 青海省柴达木综合地质勘查院, 2011, 12-14.
- [19] 高世扬, 宋彭生, 夏树屏, 等. 盐湖化学——新类型锂硼盐湖[M]. 北京: 科学出版社, 2007, 373-376.
- [20] 孙大鹏, Lock D E. 柴达木盆地钾盐沉积的形成问题[J]. 中国科学(B 辑), 1988, (12): 1323-1333.

Mineral Assemblage of Picromerite Deposits from Dalangtan Liangzhong Depression in the Western Qaidam Basin

FAN Qi-shun, CHENG Huai-de, RAN Guang-fen

(Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)

Abstract: Dalangtan Liangzhong depression in the western Qaidam Basin consists of liquid brines enriching K^+ and potassium salt minerals. Based on the field investigation for these salt deposits of LiangZhong depression the authors collected 73 salt samples from a profile (XY-1) contained potassium salt in the XingYuan Salt Works and analyzed the mineral assemblage of these samples with X-Ray Diffraction. The results indicate that the mineral sequences of these salt deposits in XY-1 profile are composed of halite + epsomite, halite + epsomite + picromerite, halite + epsomite + sylvinitite, halite + sylvinitite + carnallite and halite + bischofite. In the second zone (5.3 ~ 2.6 m), laminated potassium salts (including of picromerite, sylvinitite and carnallite) were deposited and the picromerite mineral was characteristic of better crystallization and higher grade of potassium salt. Comparing with other records of salt lakes in the Qaidam Basin, three conditions for the forming picromerite deposits in the Dalangtan playa can be gotten. They are (1) the supply of water might have been dissolved the potassium salt of the upper salt crust; (2) the mirabilite mineral was dissolved under higher temperature condition during Holocene, which increased the concentration of sulphate salt in the parent solutions and facilitated parent solution to fall over phase region of astrakhanite in the 25°C medium temperature phase diagram; and (3) hyper-arid paleoclimate conditions in the Qaidam Basin.

Key words: Dalangtan Salt Lake; Picromerite; Mineral assemblage