

# 油泉子钾矿床晶间卤水 (KCl) 自然蒸发试验研究

张兆广<sup>1,2</sup>, 祝云军<sup>2</sup>

(1 中国地质大学, 北京 100083; 2 青海省柴达木综合地质矿产勘查院, 青海 格尔木 816000)

**摘要:**油泉子矿床是一个以卤水钾镁盐矿为主的小型综合性盐类矿床, 盐湖卤水水化学类型主要为氯化物型, 从 KCl 等组分含量来看, 属高钾高钠低镁的卤水。在柴达木盆地与油泉子条件相类似的盐类矿床中, 氯化物型卤水钾的选矿工艺已十分成熟, 但对于不同矿区不同组分含量的卤水, 其结晶路线各不相同, 为此, 对油泉子矿床氯化物型卤水进行自然蒸发试验, 确定盐类结晶析出顺序和钾矿物的最佳分离点, 取得钾矿物的产率和钾石盐中 KCl 含量等基础数据, 并对该类型卤水工业利用性能作出评价。

**关键词:**卤水; 蒸发试验; 钾石盐; 光卤石; 产率

**中图分类号:** P619.211

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1008-858X(2009)04-0027-05

## 1 序言

### 1.1 地理位置

油泉子矿区位于柴达木盆地西部, 即大浪滩矿田的西南部, 行政区划属青海省海西蒙古族、藏族自治州茫崖镇。油泉子钾矿床位于南异山和油泉子构造之间, 西部以油北潜伏隆起与咸水泉凹地相隔, 东部为盐滩构造, 为一晚更新世和全新世的沉积凹地。矿床呈北西—南东向长条状展布, 长约 14 km, 宽 2~6 km。区内地形较为平坦, 海拔 2 720~2 730 m, 地势总体北高南低, 地表为疙瘩状、板状、波状盐壳, 南部边缘为风积砂覆盖。

### 1.2 矿床特征

前人对整个大浪滩钾镁盐矿田的卤水矿按产出时代共分为 5 层, 在油泉子凹地内产出有 4 层卤水矿层, 本次只对油泉子矿床内浅部的 W<sub>V</sub> 卤水矿层及 W<sub>IV</sub> 卤水矿层开展了试验工作,

下面对浅部的 W<sub>V</sub>、W<sub>IV</sub> 矿层进行叙述。

W<sub>V</sub> 卤水矿层主要分布在油泉子矿床的中心及南西部, 分布范围约 15 km<sup>2</sup>。含水层自北东向南西渐厚, 厚度 2.42~10.72 m, 平均厚度为 7.39 m, 厚度最大处位于 ZK1205 孔处, 为 10.72 m。水位埋深 0.38~3.52 m。含水层岩性主要为 Q<sub>h</sub><sup>ch</sup> 的含中粗砂的粗中粒石盐、含粉砂的细粒石盐及粗中粒石盐等, 石盐层呈松散—微胶结状, 晶隙发育较好, 透水性及含水性较好。W<sub>V</sub> 卤水矿层的孔隙度为 16.49%~22.08%, 平均为 19.13%; 给水度为 1.31%~14.85%, 平均为 10.31%。W<sub>V</sub> 卤水矿层的单位涌水量为 73.31~1 071.10 m<sup>3</sup>/d·m, 平均为 674.23 m<sup>3</sup>/d·m。渗透系数为 7.60~119.10 m/d 平均为 82.80 m/d。

W<sub>V</sub> 卤水矿层的底板岩性主要为灰黑色含石膏的淤泥、粘土等, 岩性分布在平面上比较连续、稳定, 因粘性和可塑性好而具有较好的隔水性, 与下部 W<sub>IV</sub> 卤水矿层的水力联系较弱。

W<sub>V</sub> 矿层卤水矿化度为 286.30~321.60 g/L, 平均为 304.75 g/L。卤水密度为

收稿日期: 2009-03-26

作者简介: 张兆广 (1978-), 男, 工程师, 从事盐湖和盐类矿产的勘查, 开发与研究及水文地质, 环境地质勘查与评价工作。  
(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.200~1.214 g/cm<sup>3</sup>, 平均为 1.206 g/cm<sup>3</sup>。KCl 含量在 0.64%~1.80% 之间, 平均为 1.03%; NaCl 含量在 16.61%~23.85% 之间, 平均为 19.12%。卤水中除了富含 KCl NaCl 等盐类物质外, 还伴生有 MgSO<sub>4</sub>、MgCl<sub>2</sub>、LiCl B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Rb、Cs、Sr、Br、I、NO<sub>3</sub> 等成分。水化学类型依据瓦里亚什科分类方法来划分主要属于氯化物型, 局部地段的水化学类型呈硫酸镁亚型。

W<sub>IV</sub> 卤水矿层在油泉子矿床内均有分布, 分布范围约为 28 km<sup>2</sup>。含水层顶板埋深 2.50~15.10 m, 平均为 10.09 m。含水层厚度 3.25~21.25 m, 平均为 8.66 m, 厚度最大处位于 ZK1205 孔, 为 21.25 m, 在 ZK 205 孔处厚度为 6.90 m。含水层岩性为 Q<sub>3</sub><sup>ch</sup> 的石盐及芒硝石盐等。水头高度 0.47~10.80 m, 平均为 2.99 m。含水层孔隙度为 16.27%~20.22%, 平均为 18.13%; 给水度为 5.34%~14.08%, 平均为 11.51%。W<sub>IV</sub> 卤水矿层的单位涌水量为 2.31~21.36 m<sup>3</sup>/d·m, 平均为 7.74 m<sup>3</sup>/d·m。渗透系数为 0.12~13.39 m/d 平均为 2.04 m/d。W<sub>IV</sub> 卤水矿层的底板埋深为 5.25~32.65 m, 平均为 19.72 m, 呈层状, 分布连续。岩性主要为含石膏的粘土、含石膏的淤泥等。

W<sub>IV</sub> 矿层卤水的矿化度为 233.00~342.00 g/L 平均为 309.23 g/L。卤水密度 1.167~1.225 g/cm<sup>3</sup>, 平均为 1.212 g/cm<sup>3</sup>。KCl 含量在 0.21%~1.47% 之间, 平均为 0.81%; NaCl 含量在 16.37%~24.40% 之间, 平均为 21.21%。卤水中除了富含 KCl NaCl 等盐类物质外, 还伴生有 MgSO<sub>4</sub>、MgCl<sub>2</sub>、LiCl B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Rb、Cs、Sr、Br、I 等微量成分。水化学类型依据瓦利亚什科分类方法来划分主要为氯化物型, 局部为硫酸镁亚型。

### 1.3 试验目的

一是了解原卤的自然结晶路线、结晶阶段的自然分离点和标志; 二是每吨原卤能晒出多少含钾矿物。

## 2 蒸发试验概况

试验样品原样为 2005 年 8 月 5 日采自油

泉子矿床的 ZK1205 孔内, 为 W<sub>V</sub> 矿层卤水与 W<sub>IV</sub> 矿层卤水的混合水样, 样品采集数量为 350 kg。蒸发试验在格尔木市内进行, 自 2005 年 8 月 8 日开始, 止于 2005 年 10 月 10 日, 历时 64 d。

原样的水化学物质组成见表 1。从表 1 可以看出, 所取试验样品具有较强的代表性。采用瓦里亚什科水化学分类方法, 本试验卤水的水化学类型为氯化物型, 其原卤在 25℃ 时 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>//Cl<sup>-</sup>·H<sub>2</sub>O 四元体系相图中的位置如图 1。

## 3 蒸发试验方法

将野外采集的卤水样品打入一个 2 m × 2 m × 0.3 m 的铁制蒸发箱内, 蒸发面积为 4 m<sup>2</sup>, 卤水深度约 7 cm, 进行自然蒸发试验。具体是定时观测卤水密度、析盐种类, 根据密度变化和析盐种类确定固液分离的时间及分离次数。在观测过程中采取必要的监测样品进行化验, 及时计算出相图指数, 以相图理论作指导, 预测结晶路线, 探求光卤石矿的最佳分离点。

在进行自然蒸发试验的同时进行比蒸发系数的测定, 其方法是在蒸发试样旁边, 采用同样规格的容器 (φ=60 cm 的塑料盆) 装上同样高度的卤水和淡水, 每天同时观测卤水和淡水的重量、高度及温度, 计算各自的蒸发量和比蒸发系数。当淡水与卤水的高度相差较大时则补充淡水, 补充后淡水的高度应与卤水的高度一致, 同时记录淡水的重量及高度。

## 4 试验成果

### 4.1 卤水自然蒸发试验

根据样品分析结果、卤水密度变化情况以及试样中 K<sup>+</sup> 含量的变化情况, 本次试验共分离了 4 次, 各次分离时间及相关参数如下:

1) 第 1 次固液分离工作在 8 月 13 日, 分离的依据是卤水中 K<sup>+</sup> 的含量已大于 1%。所得固体矿物主要是石盐, 重量为 46.55 kg 产率为 3.30%, 其中 K<sup>+</sup> 夹带 0.35%; 分离出卤水的重

量为 225.35 kg 卤水的密度为 1.213 g/cm<sup>3</sup>, K<sup>+</sup>的含量为 1.22%, 卤水位于石盐相区。

2)第 2 次固液分离工作在 9 月 10 日,分离的依据是卤水中 K<sup>+</sup>的含量已达 2.50%,且所取的固体样品在显微镜下发现有新矿物出现,同时卤水在相图中的位置也达到共饱和线附近,也就是说已达钾饱和阶段。分离出的固体矿物主要是石盐,重量为 33.5 kg 产率为 9.57%,其中 K<sup>+</sup>夹带 1.25%。分离出的钾饱和液重量为 95.6 kg 密度为 1.240 g/cm<sup>3</sup>, K<sup>+</sup>含量为 2.50%。

3)第 3 次固液分离工作在 9 月 23 日,分离的依据是卤水监测样品中 K<sup>+</sup>的含量达 1.61%,固体样品在显微镜下发现有新矿物出现,同时卤水在相图中的位置已达到光卤石相区。分离出的固体矿物主要是钾石盐,重量为 8.60 kg 产率为 2.46%,其中 K<sup>+</sup>含量为 10.20%, K<sup>+</sup>的分布率为 30.20%。分离出的钾

饱和液重量为 56.8 kg 密度为 1.246 g/cm<sup>3</sup>, K<sup>+</sup>含量为 1.61%。

4)第 4 次固液分离工作在 10 月 10 日,分离的依据是卤水监测样品中 K<sup>+</sup>的含量为 0.14%。固体样品在显微镜下发现有新矿物(水氯镁石)出现,同时卤水在相图中的位置已达到水氯镁石相区。分离出的固体矿物为光卤石,重量为 11.10 kg 产率为 3.17%,其中 K<sup>+</sup>含量为 10.40%, K<sup>+</sup>的分布率为 39.36%;分离出的老卤重量为 30.75 kg 密度为 1.289 g/cm<sup>3</sup>, K<sup>+</sup>含量为 0.14%。

第 4 次固液分离后,本次的蒸发试验即告结束,试验共用原卤 350 kg 共得老卤 30.75 kg 产得固体钾石盐和光卤石 19.70 kg 其 KCl 的平均含量达到 19.83%,其中的 K<sup>+</sup>含量占 10.40%,产品产率达到 5.63%。以上试验数据见表 1、表 2 及图 1。

表 1 试样各阶段卤水主要化学组分含量变化表

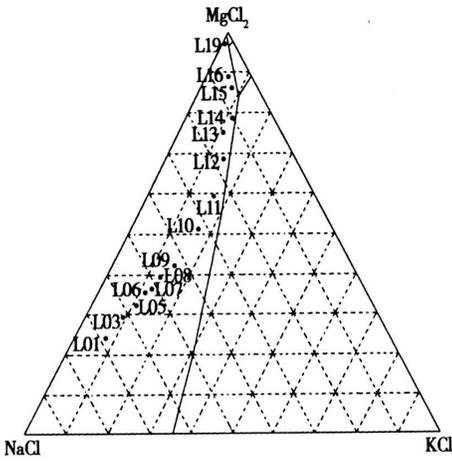
Table 1 Main chemical composition content variation table of sample brine in each stage

样品 编号	取样 日期	密度 / (kg/m <sup>3</sup> )	组分含量 /%						备注
			K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
ZK1205QSL01	2005-08-08	1.206	0.83	6.63	0.105	1.47	15.22	0.29	原卤样
ZK1205QSL02	2005-08-10	1.210	0.99	7.02	0.12	1.63	15.71	0.38	
ZK1205QSL03	2005-08-13	1.213	1.22	6.19	0.093	1.95	16.52	0.36	
ZK1205QSL04	2005-08-16	1.213	1.42	6.60	0.111	2.03	16.74	0.37	
ZK1205QSL05	2005-08-19	1.212	1.49	6.15	0.076	2.25	16.46	0.39	
ZK1205QSL06	2005-08-23	1.215	1.56	5.56	0.064	2.40	16.07	0.28	
ZK1205QSL07	2005-08-26	1.215	1.72	5.43	0.075	2.53	16.63	0.36	
ZK1205QSL08	2005-08-30	1.218	1.75	5.17	0.716	2.77	16.24	0.37	
ZK1205QSL09	2005-09-03	1.229	2.03	4.48	0.125	2.65	17.49	0.39	
ZK1205QSL10	2005-09-07	1.230	2.36	3.54	0.061	3.65	17.96	0.33	试验阶段 卤水样品
ZK1205QSL11	2005-09-10	1.240	2.50	2.83	0.084	4.49	18.31	0.39	
ZK1205QSL12	2005-09-14	1.248	2.31	1.86	0.067	5.09	19.03	0.31	
ZK1205QSL13	2005-09-19	1.268	1.58	1.14	0.063	5.70	19.69	0.33	
ZK1205QSL14	2005-09-23	1.246	1.61	1.57	0.082	5.37	18.99	0.37	
ZK1205QSL15	2005-09-27	1.266	0.90	0.65	0.059	6.97	20.35	0.31	
ZK1205QSL16	2005-10-02	1.258	1.11	7.15	0.058	6.47	20.35	0.32	
ZK1205QSL18	2005-10-06	1.266	0.30	0.37	0.040	6.58	19.73	0.28	
ZK1205QSL19	2005-10-10	1.289	0.14	0.30	0.022	8.02	22.66	0.20	

表 2 试样卤水自然蒸发试验结果

Table 2 Natural evaporation test result of sample brine

料别	样品编号	母液密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	产品名称	质量 / 产率 /		组分含量 / %						分布率 / %
				kg	%	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+$
入	QSL01	1.206	原卤	350	100	0.83	6.63	0.105	1.47	15.22	0.29	100
出	QSS03		石盐	46.55	13.3	0.35	36.25	0.22	0.51	58.58	0.51	4.96
	QSS11		石盐	33.50	9.57	1.28	33.00	0.28	0.20	56.79	1.65	13.80
	QSS14	1.240	钾石盐	8.60	2.46	10.20	18.34	0.23	1.30	41.02	0.53	30.20
	QSS19	1.289	光卤石	11.10	3.17	10.30	6.11	0.20	7.87	42.28	0.54	39.36
	QSL19		老卤									1.48
				损失与失水								
			合计	100	100							100



$\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  //  $\text{ClH}_2\text{O}$  体系 ( $25^\circ\text{C}$  稳定相图)

图 1 试验样品蒸发结晶路线图

Fig 1 Crystallization route diagram of sample brine evaporation

## 4.2 比蒸发试验

通过比蒸发试验求得了不同析盐阶段的比

表 3 比蒸发系数测定成果表

Table 3 Determination result of relative evaporation rate

时间间隔	卤水蒸发量 / kg	淡水蒸发量 / kg	蒸发阶段	比蒸发系数
8-8~8-13	4.60	6.35	石盐	0.72
8-13~9-10	19.20	31.25	石盐	0.61
9-10~9-23	4.57	10.15	钾石盐	0.45
9-23~10-10	3.42	9.00	光卤石	0.38

2) 试验证明矿区的卤水经自然蒸发和合理的分离可以晒出  $\text{K}^+$  含量较高的钾石盐和光卤石, 经过两次的分离  $\text{K}^+$  由原卤中的 0.83%, 增高至固相中的 10.40%, 钾的回收率为

蒸发系数, 其中在 8 月 8 日 ~ 8 月 13 日期间的石盐析出阶段, 比蒸发系数为 0.72; 在 8 月 13 日 ~ 9 月 10 日期间的石盐析出阶段, 比蒸发系数为 0.61; 在 9 月 10 日 ~ 9 月 23 日期间为钾石盐析出阶段, 比蒸发系数为 0.45; 在 9 月 23 日 ~ 10 月 10 日期间为光卤石析出阶段, 比蒸发系数为 0.38 (见表 3)。

## 5 试验成果讨论

### 5.1 卤水自然蒸发试验

1) 因原卤的水化学类型是氯化物型, 因此采用了四元体系相图对试验进行控制, 该相图理论上的析盐顺序为石盐 → 钾石盐 → 光卤石 → 水卤镁石, 试验所取得的固相矿物与该理论分析基本一致。

69.36%。

3) 试验求得了不同析盐阶段的分离标志, 第 1 次固液分离时卤水密度为  $1.213 \text{ g}/\text{cm}^3$ , 第 2 次固液分离时卤水密度为  $1.240 \text{ g}/\text{cm}^3$ , 第 3

次固液分离时卤水密度为  $1.246 \text{ g/cm}^3$ , 第4次固液分离时卤水密度为  $1.289 \text{ g/cm}^3$ 。

## 5.2 比蒸发试验

比蒸发试验求得的卤水石盐析出阶段的比蒸发系数为 0.665, 钾石盐阶段的比蒸发系数为 0.45, 光卤石阶段的比蒸发系数为 0.38。利用矿区附近冷湖气象站的资料, 推导出处理  $10\,000 \text{ m}^2$  卤水时石盐盐田与钾石盐、光卤石盐田面积之比为 1.75:1.07:1。

比蒸发试验不足的是未同时观测气象资料, 所引用的气象资料为 1990~1999年的, 且未收集同期格尔木的气象资料, 在此基础上推算的各阶段盐田面积比例数值缺乏一定的基础, 仅作参考。

## 6 卤水工业利用性能评价

本试验得出的工艺流程为:



采用上述蒸发流程换算得: 100 原卤 (密度按  $1.206$  计, 折合为  $82.92 \text{ m}^3$ ) 可晒出含 KCl 19.45% 的钾石盐矿 2.46 t 含 KCl 19.64% 的

光卤石矿 3.17 t 石盐 (夹带少量石膏) 22.87 t 剩余老卤 8.79 t  $\text{K}^+$  在钾石盐和光卤石中的回收率为 69.36%; 石盐夹带  $\text{K}^+$  (损失率) 为 18.52%; 残留在老卤中的  $\text{K}^+$  为 0.14%。石盐池与钾石盐、光卤石池面积比大致为 1.75:1.07:1。

通过试验, 油泉子矿床晶间卤水的钾石盐产率为 2.46%, 光卤石产率为 3.17%。根据蒸发试验所获钾石盐和光卤石的数量及质量, 结合氯化钾加工工艺和生产成本进行了经济评价, 认为该类型卤水用以加工生产氯化钾具有较好的经济效益。如果将老卤打入钠盐池进行兑卤 (直接按比例兑入老卤), 促使  $\text{Na}^+$  提前析出, 通过老卤的循环利用可使高钠卤水向高镁卤水转变, 直接生产出优质光卤石, 从而获得更好的经济效益。柴达木盆地盐湖通过几十年的开发, 钾的选矿工艺日趋成熟, 部分厂家已在开采利用该类型的卤水, 并生产出较优质的钾石盐及光卤石, 进而生产出优质钾肥, 说明该类型卤水开发在技术上是可行的, 在经济上是合理的。

## 参考文献:

- [1] 青海省柴达木综合地质勘查大队·青海省茫崖镇油泉子钾矿床浅部卤水矿详查报告 [R]. 格尔木: 青海省柴达木综合地质勘查大队, 2006.
- [2] 张兆广, 祁燕. 察尔汗盐湖低品位卤水自然蒸发试验研究 [J]. 盐湖研究, 2006, 14(1): 17-23.

## Natural Evaporation Test of Intercrystalline Brine of Youquanzi Potassium Deposit

ZHANG Zhao-guang<sup>1,2</sup>, ZHU Yun-jun<sup>2</sup>

(1. China University of Geosciences Beijing 100083, China; 2. Qaidam Integrated Geological Mineral Survey Institute of Qinghai Province Golmud 816000, China)

Abstract Youquanzi deposit is a small comprehensive salt deposit of which main composition being potassium and magnesium salt deposit. The brine hydrochemistry is mainly chloride type and belongs to high potassium-high sodium-low magnesium brine in view of the content of KCl, etc. Mineral processing technology of chloride type brine potassium of salt deposits in Qaidam basin similar to Youquanzi has been mature but the crystallization routes are different owing to diverse chemical composition content. The authors did a natural evaporation test on chloride type brine, determined the crystallization order and the best separation point, obtained the yield of potassium mineral and some fundamental data such as KCl content, etc. and evaluated the industrial utilization value of the brine.

Key words: Brine; Evaporation test; Potassium salt; Carnallite; Yield