

# 察尔汗盐湖东段潜卤水水文地球化学特征及卤水成因分析

张兆广

(青海省柴达木综合地质勘查大队, 青海 格尔木 816000)

**摘要:** 察尔汗盐湖是一个以卤水钾镁盐矿为主的大型综合性盐类矿床, 卤水中富含  $K^+$ 、 $Mg^{2+}$  等有益元素, 主要阳离子为  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$ ; 主要阴离子为  $Cl^-$ , 其次是  $SO_4^{2-}$ 。根据大量的钻孔水质分析资料, 对卤水中主要离子成分在水平及垂向的分布特征进行分析, 并探讨卤水的成因类型。

**关键词:** 卤水; 离子成分; 分布特征; 成因类型

中图分类号: P641.5

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2009)01-0019-08

察尔汗盐湖位于柴达木盆地的中东部, 是我国内陆高原上一个大型的现代盐湖钾镁盐矿床。盐湖矿区东西长 168 km, 南北宽 20 ~ 40 km, 面积 5 856 km<sup>2</sup>, 自东向西依地质特征分为霍布逊、察尔汗、达布逊及别勒滩四个连续的区段。霍、察之间以 280 勘探线为界, 察、达之间以 176 勘探线为界, 达、别之间以 300 勘探线为界。本文叙述范围为 200 勘探线及以东, 包括察尔汗区段东部大部分及整个霍布逊区段。霍布逊区段是 2006 年刚进入开发的地区, 也是目前察尔汗盐湖较有潜力的开发区。搞清霍布逊区段及附近晶间潜卤水主要离子的分布规律, 对于综合开发利用该区的卤水资源有着重要的意义。

本文叙述范围位于柴达木盆地腹地察尔汗盐湖东部, 为四周构造所包围的相对封闭的湖盆, 在区域水文地质单元中属最终排泄区之一。由于上一级冲洪积扇浅层地下含水层在冲湖积平原尖灭或缺失, 矿区又成为相对独立的次一级水文地质单元。周围地表水补给是影响矿区地下水动态的主要因素; 地质构造格局使得区内地下水处于极其缓慢的径流状态, 并最终消耗于蒸发; 与此同时, 盐矿物在矿区被逐渐积累

富集并赋存晶间卤水, 构成了区域特有的水系统特征。

## 1 水化学分类方法

区内地表水和地下水补给不足, 蒸发(排泄)作用强烈, 形成了具有典型内陆蒸发型的水文地球化学特征, 表现为高矿化咸卤水的水化学环境, 并沉积了大量固体盐矿。为了阐明卤水演化规律及其析盐特征, 采用瓦里亚什科水化学分类方法(见表 1), 并以硫酸盐型特征系数 R 进行辅助分类(见表 2)。

## 2 水化学类型

按照瓦里亚什科水化学分类, 区内潜卤水有两个基本类型, 即氯化物型和硫酸镁亚型。硫酸镁亚型水呈小面积分布。氯化物型水分布面积约占整个矿区的 93%, 其化学成分和主要特点是  $[n(SO_4^{2-})_4 / n(Ca^{2+})] < 1$ 。由于较高的  $Ca^{2+}$  含量限制着  $SO_4^{2-}$  的聚集, 使之成为形成无硫酸盐型钾盐矿床的主要卤水类型。

收稿日期: 2008-05-19

作者简介: 张兆广(1978-), 男, 工程师, 从事盐湖矿产的勘查、开发与研究及水文地质、环境地质勘查与评价工作。

表 1 瓦里亚什科水化学分类表  
Table 1 hydrochemistry classification table

水化学 类 型	$K_1 = \frac{n(CO_3^{2-}) + n(HCO_3^-)}{n(Ca^{2+}) + n(Mg^{2+})}$	$K_2 = \frac{n(CO_3^{2-}) + n(HCO_3^-) + n(SO_4^{2-})}{n(Ca^{2+}) + n(Mg^{2+})}$	$K_3 = \frac{n(CO_3^{2-}) + n(HCO_3^-) + n(SO_4^{2-})}{n(Ca^{2+})}$	$K_4 = \frac{n(CO_3^{2-}) + n(HCO_3^-)}{n(Ca^{2+})}$
氯化物型	$\ll 1$	$\ll 1$	$\leq 1$	$< 1$
硫酸 盐型				
硫酸镁亚型	$\ll 1$	$\leq 1$	$\gg 1$	$\neq 1$
硫酸钠亚型	$\leq 1$	$\geq 1$	$\gg 1$	$\neq 1$
碳酸 盐型				
弱度	几至几千	$\gg 1$	$\gg 1$	$\gg 1$
中度	几至几百	$\gg 1$	$\gg 1$	$\gg 1$
强度	几至几百	$\gg 1$	$\gg 1$	$\gg 1$

表 2 硫酸盐特征值分类  
Table 2 Eigenvalue classification table of sulfate

水化学类型	$R = \frac{n(SO_4^{2-})}{n(Mg^{2+})}$ 值的范围
“氯化物”过渡亚型	0 ~ 0.075
硫酸镁亚型	0.075 ~ 0.5
钠镁硫酸盐亚型	0.5 ~ 1.5
硫酸钠亚型	> 1.5

### 3 卤水化学成分平面分布规律

区内卤水矿化度由 250 g/l 至 410 g/l 均有分布，一般在 320 g/l 左右。卤水中富含  $K^+$ 、 $Mg^{2+}$  等有益元素，主要阳离子为  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$ ；主要阴离子为  $Cl^-$ ，其次是  $SO_4^{2-}$ 。

#### 3.1 矿化度

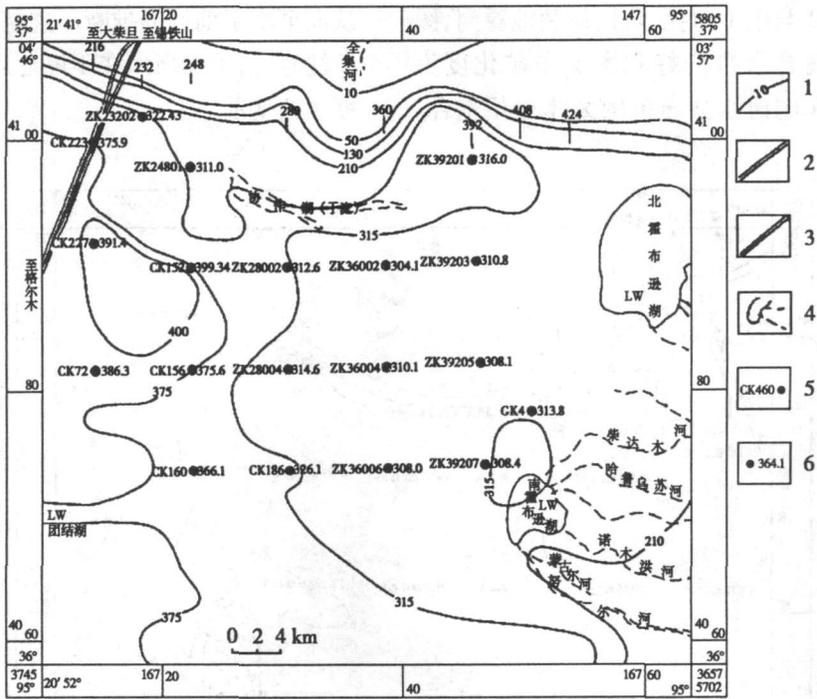
卤水矿化度是一个基本的地球化学参数，它不但可以说明盐湖卤水的浓缩淡化进程和水的运移补给方向，还可用以阐明钾镁盐富集或贫化的原因，因而有必要了解卤水矿化度在矿区的分布特征。从图 1 可以看出，在西部存在

一个范围不大的浓缩中心，卤水矿化度多在 400 g/l 以上，最高达 417.4 g/l。围绕这一浓缩中心往外卤水矿化度降低，从总体上讲，主要是从矿区的北、东、南三个方向逐渐向西部浓缩，与西部达布逊湖浓缩中心形成一条北西—南东向的高矿化带，推测是当时盐湖的中心带。

#### 3.2 钾、钠、镁

区内潜卤水中阳离子主要为  $K^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Na^+$ ，这里分别用  $KCl$ 、 $MgCl_2$ 、 $NaCl$  的形式来表示，了解其在水平方向上的分布特征。

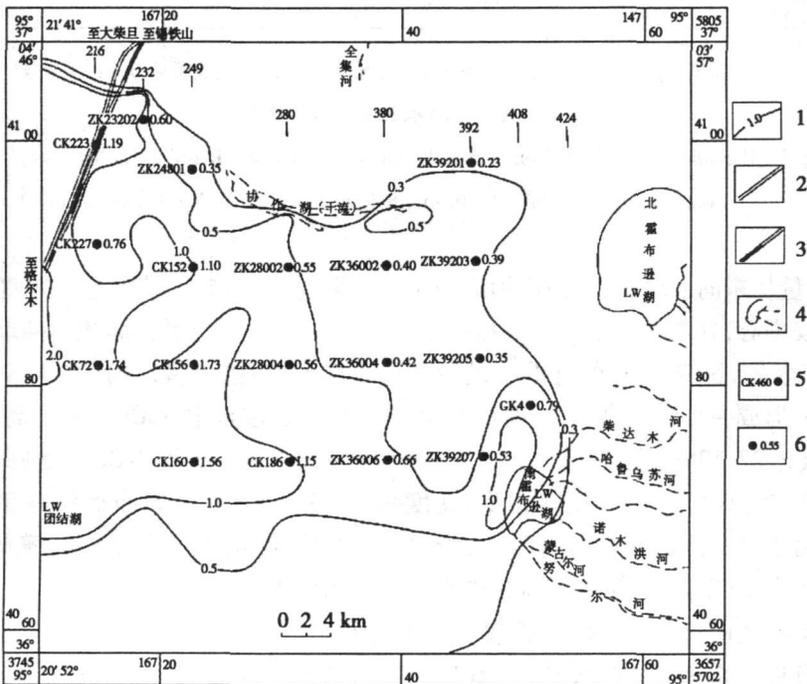
卤水中  $KCl$  的含量变化规律是比较特殊的，刚开始可以伴随着卤水盐度的升高而逐渐升高，到一定程度之后，由于钾矿物的析出， $KCl$  含量反而逐渐降低。在察尔汗盐湖，矿化度为 350 ~ 400 g/l 者是含钾最理想的卤水体。从  $KCl$  含量等值线图 2 看， $KCl$  的高含量中心主要分布在矿区的西部，含量高达 1.05% ~ 2.29%；其次是位于高含量中心的外围及南霍布逊湖一带，大致呈 NW—SE 向展布， $KCl$  含量介于 0.5% ~ 1.0% 之间。在上述范围之北东及南部高钠分布区， $KCl$  含量都比较低，一般在 0.5% 以下。



1 潜水矿化度等值线; 2 公路; 3 铁路; 4 水系及湖泊; 5 钻孔及编号; 6 矿化度值 (g/L)

图 1 潜水矿化度等值线图

Fig 1 Phreatic water salinity isopleth map. 1. Phreatic water salinity isopleth 2. highway 3. railway 4. water system and lake 5. drilling hole and number 6. salinity (g/L)



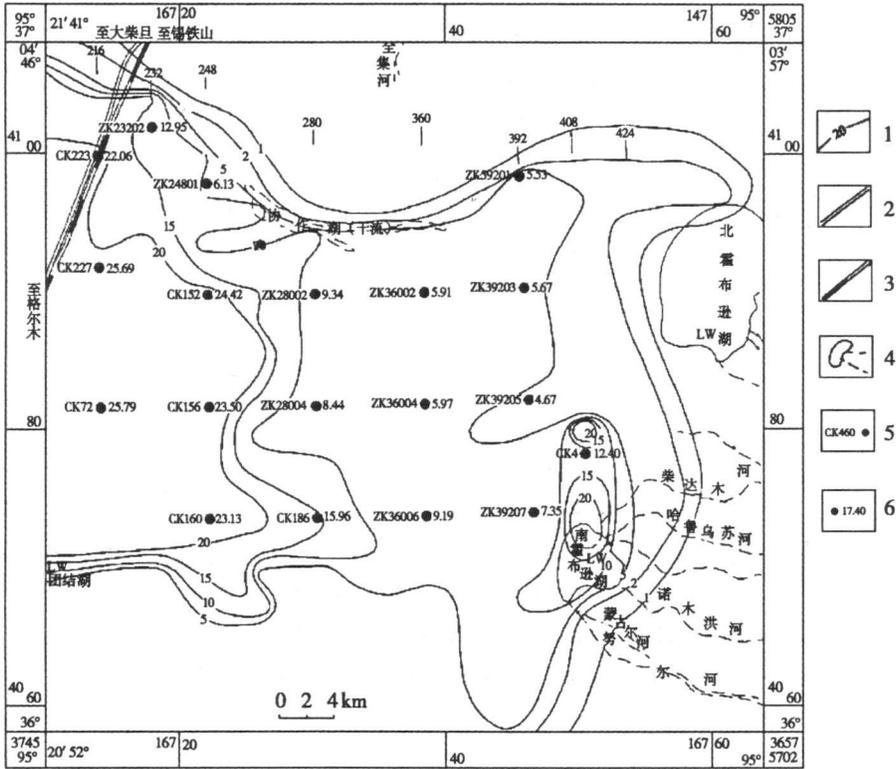
1. 潜水 KCl 等值线; 2 公路; 3 铁路; 4 水系及湖泊; 5 钻孔及编号; 6. KCl 含量 (%)

图 2 潜水 KCl 等值线图

Fig 2 Phreatic water KCl isopleth map. 1. Phreatic water KCl isopleth 2. highway 3. railway 4. water system and lake 5. drilling hole and number 6. KCl content (%)

若将图 2 与图 1 对比, 可以清楚地看到, 图 2 中的 KC 高含量带恰好和图 1 中矿化度为 350~400 g/L 的卤水分布范围大体上相重合,

从而证实了前面的推断。这是在开发工作中应该注意的, 因为卤水在不停地运动, 卤水的矿化度也会变动。



1. 潜水  $MgCl_2$  等值线; 2. 公路; 3. 铁路; 4. 水系及湖泊; 5. 钻孔及编号; 6.  $NaCl$  含量 (%)

图 3 潜水  $MgCl_2$  等值线图

Fig. 3 Phreatic water  $MgCl_2$  isoline map 1. Phreatic water  $MgCl_2$  isoline 2. highway 3. railway 4. water system and lake 5. drilling hole and number 6.  $MgCl_2$  content (%)

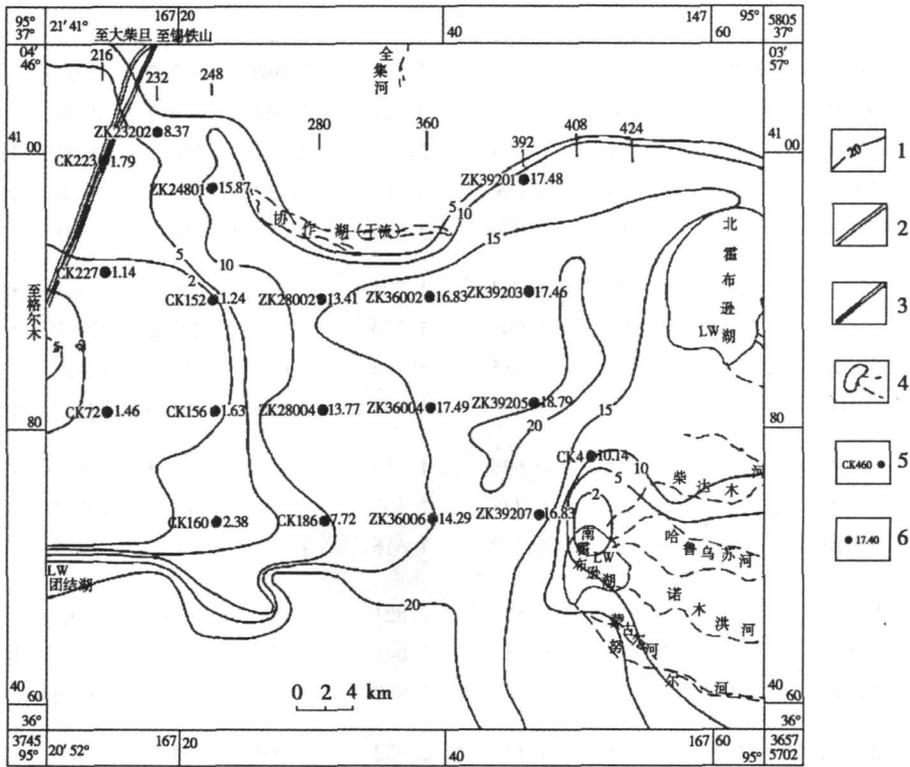
$MgCl_2$  含量从东向西增高, 在西部构成一个半扇状的高镁中心, 并与卤水浓缩中心相一致,  $MgCl_2$  含量高达 27.50%。另在南霍布逊湖北侧浓缩中心也形成一个环状高镁带, 面积不大, 而  $MgCl_2$  含量达 27.57% (图 3)。

$NaCl$  的分布规律与  $MgCl_2$  正好相反, 盐度较低的低镁卤水分布区正好是高钠区。如图 4 所示,  $NaCl$  含量从矿区东部向西部高镁中心逐渐降低, 边缘地区的  $NaCl$  含量一般较低, 为 5% 左右, 只有近北霍布逊一带较高, 达 10%~20%; 接近高镁中心处,  $NaCl$  含量仅为 1.5%~3.0%。

综上所述, 该区卤水在 280 线以西以富含氯化镁为特征, 一般含量在 15% 以上, 最高

可达 28.01%; 其次是比较富含氯化钾, 含量在 1.0% 以上者, 面积达 400  $km^2$  以上, 含量在 0.5% 以上者, 约达 760  $km^2$ 。而在 280 线以东, 卤水中  $NaCl$  含量较高, 一般介于 15%~20% 之间, 而  $KCl$  含量则较低, 一般小于 0.5%, 仅在南霍布逊湖一带高于 0.5%。因而该区卤水中的钾、钠、镁具有重要的开发利用价值。

有关卤水中镁富集的机制, 除决定于物质来源和卤水本身所属物理化学平衡体系的性质之外, 还取决于湖盆发展演化的历史。河湖的变迁, 归根结底是取决于水动力学状态的演变, 更明确的说, 是水的动力学机制决定着卤水的地球化学特征。



1. 潜水 NaCl等值线; 2. 公路; 3. 铁路; 4. 水系及湖泊; 5. 钻孔及编号; 6. NaCl含量 (%)

图 4 潜水 NaCl等值线图

Fig. 4 Phreatic water NaCl isoline map 1. Phreatic water NaCl isoline 2. highway 3. railway 4. water system and lake 5. drilling hole and number 6. NaCl content (%)

### 4 卤水化学成分垂向变化规律

区内卤水垂直分异不明显, 卤水盐度和各项离子含量上下基本相近 (见表 3), 就是在卤水有上下充分交替条件下形成的。由表 3 可以看出, 卤水在垂向上变化特征主要有: (1)  $K^+$ 、

$Mg^{2+}$  离子含量变化不大; (2)  $Na^+$ 、 $Cl^-$  离子上高下低; (3)  $Ca^{2+}$  离子随深度增加而由大变小,  $SO_4^{2-}$  与之相反; (4) 矿化度总体上是上高下低, 相对密度与其规律基本相似。实际上, 卤水化学垂向变化与含水介质、受蒸发析盐程度有关, 同时受河流补给强度的影响, 情况较复杂, 不同地段的影响因素较多。

表 3 矿区部分钻孔水化学分析成果垂向变化统计表

Table 3 Statistical table of vertical changes of hydrochemistry analytical results of partial drilling hole in mining area

孔号	取样深度 /m	主要离子 / (mg/L)							相对密度	矿化度 / (g/L)
		$K^+$	$Na^+ \times 10^4$	$Ca^{2+} \times 10^4$	$Mg^{2+} \times 10^4$	$Cl^- \times 10^5$	$SO_4^{2-}$	$HCO_3^-$		
ZK28002	0 28~4	10 3 260	6 700	1. 315	2 498	2 308	600 9	0 00	1. 214	313 1
	8 13	3 230	6 650	1. 784	2 460	2 038	572 1	427. 7	1. 210	316 9
	12 06	3 230	6 700	1. 293	2 562	2 038	633 9	0 00	1. 213	313 5
	17 50	3 230	6 550	1. 372	2 679	2 090	543 3	101. 2	1. 210	319 1
	21 99	3 260	6 550	1. 284	2 520	2 064	670 9	393. 6	1. 213	314 1

续表 3

ZK28004	0 50 ~ 4 00	3 630	6 190	1 125	3 028	2 080	613 3	0 00	1 215	316 6
	8 00	3 650	6 190	1 115	3 144	2 062	629 7	0 00	1 214	316 4
	12 08	3 170	7 075	0 951	2 607	2 043	786 2	0 00	1 211	315 3
	16 20	3 520	6 440	1 090	2 786	2 052	666 8	0 00	1 213	313 4
	19 98	3 820	6 240	0 999	3 265	2 099	753 2	0 00	1 216	320 5
ZK36002	0 28 ~ 4 17	2 150	8 050	1 204	1 724	2 007	926 1	291 9	1 209	314 6
	8 17	2 120	8 050	1 046	1 760	2 024	1 152	199 7	1 209	315 3
	12 09	2 150	8 050	1 135	1 796	2 015	773 8	226 9	1 210	315 2
	16 00	2 150	7 550	1 106	1 844	1 990	708 0	339 3	1 211	307 9
ZK36004	0 43 ~ 4 40	2 060	9 275	0 696	1 289	1 957	974 7	179 1	1 206	312 1
	8 50	2 480	8 525	0 778	1 660	1 949	866 0	266 4	1 203	308 7
	14 10	2 500	8 725	0 562	1 616	1 932	1 123	254 5	1 199	306 3
ZK36006	0 33 ~ 4 30	4 280	7 125	0 535	2 821	2 009	1 144	0 00	1 206	311 6
	8 30	4 120	7 225	0 466	2 641	1 975	1 346	0 00	1 206	306 7
	12 80	4 240	7 175	0 528	2 899	1 983	1 146	288 6	1 203	310 3
ZK39203	0 30 ~ 4 17	2 840	7 750	1 120	2 022	2 009	592 7	163 6	1 209	314 0
	8 27	2 400	8 450	0 915	1 700	1 975	732 6	218 0	1 205	312 0
	12 61	2 520	815 0	0 993	1 824	1 957	675 0	0 00	1 206	309 2
	17 98	2 620	7 785	1 017	1 858	1 957	662 7	0 00	1 206	307 1
ZK39205	0 30 ~ 4 17	1 800	9 475	0 756	1 150	1 957	930 2	0 00	1 203	312 9
	8 61	2 540	8 725	0 682	1 665	1 966	967 3	204 8	1 205	311 5
	12 35	2 260	8 900	0 711	1 526	1 962	967 3	205 8	1 205	308 5
	16 21	2 340	8 725	0 691	1 512	1 940	913 8	177 3	1 203	306 8

## 5 卤水成因类型分析

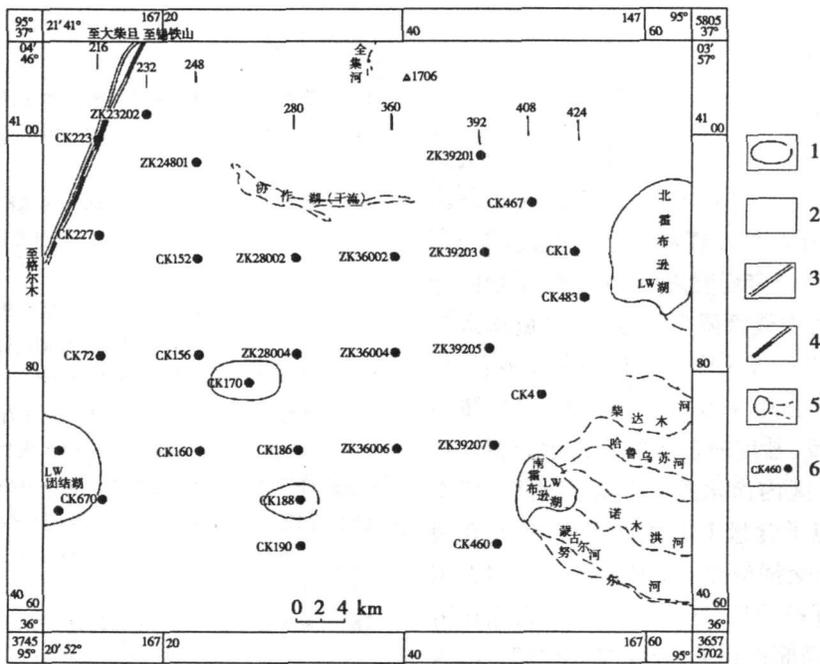
卤水的形成是地质历史时期中构造运动及地层、地貌、水文地质条件等多方面因素共同作用的结果。我们以苏林成因分类和找钾标志特征系数对区内地下卤水的成因进行探讨。

### 5.1 卤水成因分类

苏林成因分类(表 4)主要通过水的化学类型划分出水化学成份的三个主要环境。区内钻孔卤水所确定的分类指数值,在矿区有规律地分布(图 5),卤水化学成因类型以氯化钙型为主,氯化镁型水主要分布在矿区南部一带。

表 4 苏林分类表  
Table 4 Water type classification table

水化学类型	$n(\text{Na}^+) / n(\text{Cl}^-)$	$\frac{n(\text{Na}^+) - n(\text{Cl}^-)}{n(\text{SO}_4^{2-})}$	$\frac{n(\text{Cl}^-) - n(\text{Na}^+)}{n(\text{Mg}^{2+})}$
硫酸钠型	> 1	< 1	/
重碳酸钠型	> 1	> 1	/
氯化镁型	< 1	/	< 1
氯化钙型	< 1	/	> 1



1.  $MgCl_2$ 型水; 2.  $CaCl_2$ 型水; 3. 公路; 4. 铁路; 5. 水系及湖泊; 6. 钻孔及编号

图 5 矿区按苏林分类的水化学略图

Fig 5 Hydrochemistry sketch map of water types in the mining area 1.  $MgCl_2$  water type; 2.  $CaCl_2$  water type; 3. highway; 4. railway; 5. water system and lake; 6. drilling hole and number

根据苏林分类对水化学类型的解释, 氯化镁型水代表了连续的蒸发浓缩环境, 而氯化钙型水所代表的为还原—深成封闭环境, 它是通过氯化镁型水中阳离子交换作用, 水中  $Na^+$  被岩石中吸附的  $Ca^{2+}$  交换所致, 这与孔隙卤水以  $Ca^{2+}$  和晶间卤水以  $Na^+$  为主的特征相一致。

### 5. 2 钾标志特征系数

找钾特征系数常用钾氯系数、溴氯系数以及钾总盐系数的三个特征值来确定。经对矿区所有孔点计算并经统计(表 5), 可见: a) 溴氯系

数均小于 3. 4(海水), 反映了矿区卤水的陆相成因, 从表中可见远小于 14, 表明了卤水基本源于溶滤水; b) 钾氯系数, 钾总盐系数一般小于沉积卤水特征值, 但表中所列部分孔点出现异常, 表明了卤水为溶滤水和沉积水并成的成因, 而且这些孔点均分布于矿区西部, 位于苏林分类中氯化钙型水的分布区。

通过卤水成因类型分析, 可见矿区地下水为陆相溶滤水成因, 在局部得到沉积水的补给, 卤水所表现的是溶滤水和沉积水的混合成因。

表 5 矿区找钾特征系数计算结果统计表

Table 5 Statistical table of calculation results on characteristic coefficient of finding potassium

找钾特征系数		$\frac{K \times 10^3}{\sum \text{盐}}$	$\frac{K^+ \times 10^3}{Cl^-}$	$\frac{Br^- \times 10^3}{Cl^-}$	
卤水类型及标准	溶滤卤水	明显异常	> 10	> 20	> 0.5
	沉积卤水	有异常	6 ~ 10	10 ~ 20	0.3 ~ 0.5
		达到钾盐沉积	> 40	> 75	> 14
矿区特征系数常见值			10 ~ 30	10 ~ 40	0.01 ~ 0.25
异常沉积卤水孔点及计算数值			248 / CK157 (49.96) 200 / CK129 (47.14) 200 / CK46 (45.50)	200 / CK128 (99.71)	均小于 3.40

## 6 结 论

区内卤水中主要离子成分在水平方向上具有一定的分布规律,  $KCl$  的含量变化规律是比较特殊的, 刚开始可以伴随着卤水盐度的升高而逐渐升高, 到一定程度之后, 由于钾矿物的析出,  $KCl$  含量反而逐渐降低。  $MgCl_2$  含量从东向西增高, 在西部构成一个半扇状的高镁中心, 并与卤水浓缩中心相一致。  $NaCl$  的分布规律与  $MgCl_2$  正好相反, 盐度较低的低镁卤水分布区正好是高钠区。区内卤水垂直分异不明显, 卤水盐度和各项离子含量上下基本相近, 就是在卤水有上下充分交替条件下形成的。通过对卤水的成因类型进行分析, 区内地下卤水为陆相溶滤水成因, 在局部得到沉积水的补给, 卤水所表现的是溶滤水和沉积水的混合成因。

## 参考文献:

- [ 1 ] 青海省地矿局第一地质队 . 察尔汗盐湖晶间卤水水化学特征 [ R ] . 平安: 青海省地矿局第一地质队, 1967—1969.
- [ 2 ] 青海省地矿局第一地质队 . 察尔汗盐湖区域水文地质调查总结报告 [ R ] . 平安: 青海省地矿局第一地质队, 1967—1969.
- [ 3 ] 青海省地矿局第一地质队 . 察尔汗盐湖钾镁盐矿床物质成份、分布规律及形成条件的研究 [ R ] . 平安: 青海省地矿局第一地质队, 1967—1969.
- [ 4 ] 青海省地矿局第一地质队 . 察尔汗盐湖钾镁盐矿床卤水化学分带规律及钾富集的水化学条件 [ R ] . 平安: 青海省地矿局第一地质队, 1967—1969.
- [ 5 ] 国家地震局地质研究所 . 察尔汗盐湖 (  $S_1$  ) 层卤水地球化学研究 [ R ] . 北京: 国家地震局地质研究所, 1989—1991.
- [ 6 ] 青海省柴达木综合地质勘查大队 . 青海省察尔汗盐湖霍布逊区段钾矿补充勘探报告 [ R ] . 格尔木: 青海省柴达木综合地质勘查大队, 2004.

## Unconfined Brine Hydrochemistry Characteristic and Brine Cause Analysis of East Section of Qarhan Salt Lake

ZHANG Zhao-guang

( Qinghai Qaidam Integrated Geological Survey Brigade Golmud 816000 China )

Abstract: Qarhan salt lake is a large multiple salt deposit with the primary composition of potassium and magnesium brine. It is rich in useful elements, of which major cation being  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ , and major anion being  $Cl^-$  and  $SO_4^{2-}$ . According to lots of water quality drilling data, the author analyzed distribution features of the major ions composition in horizontal and vertical direction, and discussed genetic types of the brines.

Key words: Brine, Ions composition, Distribution features, Genetic types