察尔汗盐湖别勒滩区段晶间卤水的主要离子分布特征

田 润[1,2], 韩凤清[1], 马海州[1], 刘勇平, 高东林[1], 张西营[1]
(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3. 青海第一矿产地质大队, 青海 西宁 810600)

摘 要: 通过野外采集样品、室内实验分析, 研究了察尔汗盐湖别勒滩区段晶间卤水的主要离子分布特征。采集了53个晶间卤水样品, 通过分析, 发现K^+浓度一般随着深度的增加而减小, Li^+浓度一般随着深度的增加而增加, Mg^{2+}浓度随着深度增加浓度也在增加, 但异常情况同样存在。Li^+, B_2O_3在空间分布上有一个富集区域, 越是远离这一区域离子含量就越低; K^+含量则存在两个临界点, 在临界点附近相关离子浓度和矿化度会变化。

关键词: 察尔汗盐湖; 别勒滩; 晶间卤水; 离子分布
中图分类号: P641.464 文献标识码: A 文章编号: 1008-858X(2007)03-0007-07

0 前 言

察尔汗盐湖位于柴达木盆地中南部, 海拔2 776 m, 湖长168 km, 湖宽40 km, 湖区面积5 856 km^2, 是世界最大的内陆盐湖之一, 也是我国最大可溶性钾镁盐矿床。

盐类沉积最大厚度为70 m, 一般为30~40 m。晚更新世以来, 该湖沉积了一套以陆源碎屑和石盐互层的盐湖沉积物。察尔汗干盐湖被分为四个区段, 从东到西为霍布逊段, 察尔汗段, 达布逊段, 别勒滩段。

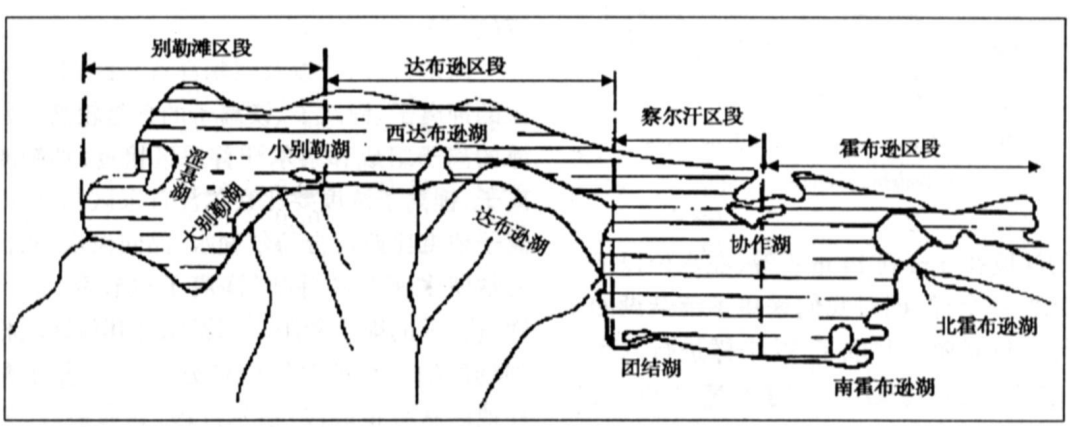

图1 察尔汗盐湖区段划分

Fig 1 Division of the regions in Qarhan salt lake

收稿日期: 2007-04-02
基金项目: 中国科学院知识创新项目课题号0510011052
作者简介: 田 润(1980-), 男, 硕士, 主要从事盐湖地球化学。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

别勒滩位于察尔汗盐湖的最西段,属于开发利用比较晚的地区,也是察尔汗盐湖开发最有潜力的地区。在察尔汗干盐湖的石盐层和碎屑层中赋存着储量巨大的地下卤水,主要为晶间卤水。然而,对于别勒滩区段的晶间卤水的主要离子分布,目前资料还很少。弄清别勒滩晶间卤水离子的地球化学分布规律,对综合利用别勒滩的卤水有着重要的意义。

本文通过分析察尔汗盐湖别勒滩段的晶间卤水的化学成分,试图总结离子的分布规律。

1 样品的采集和测定方法

所有的样品都采自别勒滩,位于察尔汗盐湖别勒滩段,共打了 12 个孔,孔的位置如图 2 所示。

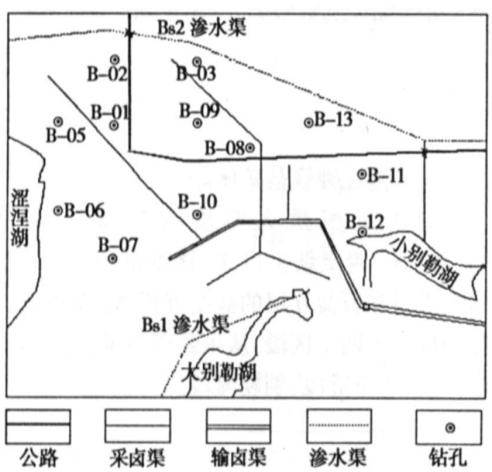

图 2 别勒钻孔位置分布图

Fig 2 The distribution map of the drilling cores in Bieletan regions

孔的深度在 5 m 到 14 m 不等,在水位以下每隔两米取一个样,同时我们采集了涩聂湖的湖水进行分析对照。共取了 53 个样进行八大离子浓度测定,K^+、SO_4^{2-} 采用重量分析法,Ca^{2+}、Mg^{2+}、Cl^-、B_2O_3 采用滴定分析法,Li^+ 用原子吸收光谱测量,Na^+ 含量采用差减法计算获得(表 1)。卤水的分析方法据文献[4]。

2 离子分布特征

2.1 各孔的平均值以及对比

从各孔数据可以看出,各孔之间钾离子浓度还是有一定差别的,浓度最高为 b－12 孔,浓度高的孔为 b－2、b－7、b－9、b－10、b－11、b－12,浓度低的孔为 b－6、b－5。可能是由于 b－5、b－6 孔靠近涩聂湖,受涩聂湖补给的影响,造成晶间卤水的淡化,同 b－5 孔相比 b－6 孔更靠近涩聂湖,b－6 孔的钾离子浓度更接近于涩聂湖。同各孔卤水相比,涩聂湖水具有低 Mg^{2+}、K^+、Cl^-,高 Na^+ 的特点,而 b－5 孔和 b－6 孔晶间卤水也具有这些特点,而且各个离子浓度介于涩聂湖和平均值之间,可以推测涩聂湖湖水对 b－5 和 b－6 孔的晶间卤水可能有补给作用。各个孔之间锂离子浓度则差别比较大,平均浓度最高为 0.668 g/L,最低为 0.055 g/L。而且,含锂最高的孔为 b－2 和 b－3,离这一区域越远的地方锂离子的含量就越低,具体数值见表 2。可见越是远离这一区域锂离子的含量就越小,越是靠近这一区域锂离子的含量就越大,可以推定 b－2 孔,b－3 孔一带可能是别勒滩中锂离子的富集区。而 B_2O_3 的富集区位于 B－1 孔附近,从 b－2 孔到 b－12 孔越是远离这一区域,B_2O_3 的含量就越低。

我们将别勒滩和东台吉乃尔,西台吉乃尔,察尔汗盐湖各个区段的主要离子浓度进行了比较(表 3)。

同东台、西台以及察尔汗首采区相比,别勒滩的钾离子、锂离子、镁离子的含量较高。别勒滩的离子组成和察尔汗首采区接近,别勒滩钾离子、锂离子浓度要比察尔汗首采区的高,而锂离子浓度比西台吉乃尔湖水,晶间卤水,东台古乃尔湖水还要高,同时镁离子也较高,适合于锂、镁、钾的综合利用。同察尔汗其他区段相比别勒滩的卤水钾含量相对更高一些,整个察尔汗地区从霍布逊段,察尔汗段,达布逊段,再到别勒滩段,从东到西,4 个区域 Ca^{2+} 含量依次递减,Mg^{2+} 含量依次递增,Na^+ 含量依次递减,Li^+ 含量依次递增,Cl^- 含量依次递增,说明察尔汗盐湖晶间卤水的离子浓度在空间分布上有一定的规律性。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

表 1　所采样品八大离子的的含量(g/L)

Table 1　Contents of the main ions of the samples (g/L)

孔号	深度/m	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	Li^+	SO_4^{2-}	Cl^-	B_2O_3	矿化度/g·L^{-1}
涩聂湖	0.0	4.473	0.051	11.06	106.5	0.106	10.73	193.2	0.495	326.6
b—1—1	4.5	18.79	0.305	79.44	12.72	0.526	7.014	266.3	1.342	386.4
b—1—2	6.0	18.15	0.305	79.44	11.46	0.538	7.187	263.7	1.375	382.14
b—1—3	8.0	17.61	0.305	79.93	9.129	0.547	7.170	261.1	1.365	377.1
b—1—4	9.3	17.54	0.305	80.55	6.643	0.558	7.187	259.0	1.392	373.2
b—1—5	12.0	17.26	0.305	79.93	7.630	0.580	7.162	258.5	1.391	372.7
b—2—1	2.0	19.70	0.305	80.55	7.145	0.626	6.824	259.2	1.291	375.7
b—2—2	4.0	19.16	0.305	80.61	9.008	0.636	7.812	261.1	1.254	379.9
b—2—3	6.5	19.03	0.305	81.16	8.000	0.655	7.738	261.1	1.301	379.3
b—3—1	2.0	16.74	1.016	75.80	12.12	0.667	1.128	255.9	0.485	363.8
b—3—2	4.0	16.45	1.219	75.06	11.64	0.662	0.165	253.8	0.528	359.5
b—3—3	5.5	16.37	0.508	76.11	10.89	0.668	0.930	253.8	0.521	359.8
b—5—1	3.0	13.31	0	31.00	70.93	0.376	27.82	193.2	1.017	337.7
b—5—2	5.0	13.14	0	31.12	70.57	0.375	27.34	193.2	1.102	336.8
b—5—3	7.0	13.27	0	31.43	68.95	0.373	27.08	191.9	1.093	334.1
b—6—1	2.0	7.266	0.203	15.90	96.40	0.181	20.17	188.0	0.779	328.9
b—6—2	4.0	7.200	0.203	15.90	95.59	0.180	20.15	186.7	0.655	326.5
b—6—3	6.0	5.826	0.203	15.90	96.19	0.180	20.79	185.9	0.806	325.8
b—6—4	8.0	7.419	0.203	15.90	95.34	0.182	20.99	185.9	0.761	326.7
b—6—5	10.0	7.201	0.203	15.90	95.40	0.182	20.84	185.9	0.746	326.4
b—6—6	12.0	8.073	0.203	26.38	71.87	0.273	19.02	182.8	0.933	309.5
b—6—7	13.6	10.08	0.203	50.41	38.1	0.461	15.36	206.3	1.215	322.1
b—7—1	2.1	22.45	0.203	70.87	14.81	0.277	8.405	245.4	0.655	363.1
b—7—2	4.0	22.26	0.203	71.98	13.30	0.280	8.347	246.2	0.686	363.2
b—7—3	6.0	22.34	0.203	71.36	13.07	0.279	8.364	244.1	0.658	360.4
b—7—4	8.0	22.48	0.203	71.36	12.42	0.277	8.216	243.3	0.636	358.9
b—7—5	10.0	22.26	0.203	71.98	12.71	0.279	8.183	245.4	0.653	361.7
b—7—6	11.8	22.37	0.203	71.36	12.16	0.278	8.248	242.8	0.64	358.1
b—8—1	6.5	21.12	0.203	75.37	9.674	0.251	4.799	251.9	0.594	363
b—8—2	9.0	17.09	0.203	78.14	8.404	0.285	4.840	254.6	0.505	364
b—8—3	11.0	10.89	0.305	83.63	4.337	0.338	2.165	261.1	0.416	363.2
b—8—4	13.0	9.906	0.305	83.01	6.306	0.341	1.951	261.6	0.403	363.8
b—9—1	4.3	19.55	0.305	82.4	6.357	0.409	5.573	266.3	0.893	373.8
b—9—2	6.0	19.57	0.305	79.93	5.930	0.415	5.622	258.5	0.967	371.2
b—9—3	8.0	19.68	0.305	80.55	5.890	0.423	5.688	260.3	0.940	373.8
b—9—4	9.0	19.42	0.203	79.99	7.318	0.422	5.557	260.6	0.944	374.4
b—10—1	6.0	22.15	0.203	66.56	18.49	0.182	6.874	238.9	0.537	353.9
b—10—2	8.0	22.41	0.203	67.05	17.36	0.191	6.833	238.9	0.552	353.5
b—10—3	10.0	21.65	0.203	73.52	12.76	0.229	6.190	250.6	0.572	365.8
b—10—4	12.0	20.01	0.203	73.52	15.22	0.239	5.861	253.2	0.554	368.9
b—10—5	13.7	18.83	0.203	81.84	1.621	0.255	5.441	255.9	0.535	364.6
b—11—1	3.5	20.03	0.203	75.06	10.73	0.12	1.762	253.2	0.373	361.5
b—11—2	6.0	20.07	0.203	74.45	11.88	0.119	1.778	253.2	0.336	362.1
b—11—3	8.0	20.21	0.711	73.52	9.756	0.119	1.795	248.3	0.342	354.7
b—11—4	10.0	20.14	0.711	73.95	9.699	0.119	1.885	249.3	0.358	356.2
b—12—1	1.5	23	0.203	60.89	26.67	0.056	12.34	231.1	0.388	354.6
b—12—2	2.5	22.63	0.203	60.58	27.59	0.056	12.59	231.1	0.401	355.1
b—12—3	3.5	23.04	0.203	60.89	26.76	0.056	12.57	231.1	0.393	355
b—12—4	4.5	22.85	0.203	60.89	27.68	0.056	12.49	232.4	0.407	356.9
b—13—1	2.5	15.84	8.633	76.11	6.263	0.283	0.387	262.4	0.337	370.2
b—13—2	4.0	13.86	5.078	77.96	7.162	0.282	0.37	261.1	0.35	366.1
b—13—3	6.0	15.6	5.078	77.96	6.144	0.281	0.379	261.1	0.334	366.9
b—13—4	7.8	15.67	5.078	77.96	4.42	0.281	0.395	258.5	0.336	362.6

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnk

表 2 各孔的离子浓度的平均值(g/L)

Table 2 Average concentrations of the main ions of each core (g/L)

孔号	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	Li^+	SO_4^{2-}	Cl^-	B_2O_3
b—1	17.87	0.305	79.86	9.515	0.550	7.144	261.7	1.373
b—2	19.30	0.305	80.77	8.051	0.639	7.458	260.5	1.282
b—3	16.52	0.914	75.66	11.55	0.666	0.741	254.5	0.511
b—5	13.24	0	31.18	70.15	0.375	27.42	192.8	1.071
b—6	8.956	0.203	22.33	84.13	0.234	19.62	188.8	0.842
b—7	22.36	0.203	71.49	13.08	0.278	8.294	244.5	0.655
b—8	14.75	0.254	80.04	7.180	0.304	3.439	257.3	0.479
b—9	19.56	0.279	80.72	6.374	0.417	5.610	261.4	0.936
b—10	21.01	0.203	72.50	13.09	0.219	6.240	247.5	0.550
b—11	20.11	0.457	74.24	10.51	0.119	1.805	251.0	0.352
b—12	22.88	0.203	60.81	27.18	0.056	12.50	231.4	0.397
b—13	15.24	5.967	77.50	5.997	0.282	0.383	260.8	0.339
平均值	17.65	0.774	67.26	22.23	0.345	8.387	242.7	0.732
max	22.88	5.967	80.77	84.13	0.666	27.42	261.7	1.373
min	8.956	0 0	22.33	5.997	0.056	0.383	188.8	0.339

表 3 别勒滩和东台吉乃尔,西台吉乃尔,察尔汗盐湖主要离子浓度(g/L)

Table 3 The concentrations of the main ions in the salt lakes of Bieletan, East Taijinar, West Taijinar and Qarhan (g/L)

	K^+	Ca	Mg^{2+}	Na^+	Li^+	SO_4^{2-}	Cl^-	B_2O_3
别勒滩	17.29	0.721	65.44	24.59	0.325	8.765	240.5	0.732
西台湖水	6.895	0.2945	13.650	103.268	0.2015	23.996	188.047	无数据
西台晶间卤水	8.444	0.1989	15.737	101.175	0.256	35.315	183.501	无数据
东台湖水	3.786	0.4337	5.686	116.452	0.141	18.028	187.037	无数据
涩聂湖湖水	4.473	0.0511	11.06	106.5	0.106	10 73	193.2	0.495
霍布逊	2.957	3.659	21.195	83.343	0.010	1.550	198.451	0.271
察尔汗	12.11	1.017	28.667	71.360	0.016	6.414	201.6	0.250
达布逊	19.037	2.1936	46.539	41.867	0.026	2.325	219.7	0.321

* 卤水数据来自张彭熹(1987)

2.2 钾离子、锂离子浓度和深度成线性关系

卤水中钾、锂和深度成线性关系,尤其是锂离子的线性关系更好(表 4)。我们选择钾离子和锂离子研究离子随着深度增加的变化,以深度为横坐标,浓度为纵坐标,做出 *XY* 散点图,进行一元线性回归,做出线性公式,并画出趋势线。提取出趋势线的斜率 *K* 和反映线性关系的 R^2。*K* 代表离子浓度随着深度变化系数,而 R^2 代表线性关系程度,R^2 越接近 1,线性就越好。

表 4 锂离子和钾离子浓度与深度的线性关系

Table 4 The linear relationship between concentrations of Li^+, K^+ and the depth

孔 号	深度范围/m	Li^+			K^+		
		K	R^2	相关性	*K*	R^2	相关性
b—1	4.5~12	0.007 0	0.987 9	+	—0.195 8	0.885 5	—
b—2	2~6.5	0.006 3	0.987 3	+	—0.146 3	0.845 3	—
b—3	2~5.5	0.000 1	0.003 1	+	—0.107 9	0.954 8	—
b—5	3~7	可忽略	0.854 7	基本不变	可忽略	0.057 7	基本不变
b—6	2~13.6	0.018 4	0.537 6	+	0.206 2	0.450 8	+
b—7	2.1~11.8	可忽略	0.044 4	基本不变	可忽略	0.030 4	基本不变
b—8	6.5~13	0.015	0.925 3	+	—1.855 7	0.945 8	—
b—9	4.3~9	可忽略	0.945 7	基本不变	可忽略	0.048 6	基本不变
b—10	6~12	0 01	0.956	+	—0.462 2	0.855 7	—
b—11	3.5~10	可忽略	0.581 1	基本不变	可忽略	0.614 1	基本不变
b—12	1.5~4.5	可忽略	0.98	基本不变	可忽略	0.000 9	基本不变
b—13	2.5~7.8	可忽略	0.819 4	基本不变	可忽略	0.049 6	基本不变

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

表 4 中可以看出, 反映了察尔汗盐湖别勒滩区段晶间卤水中钾离子和锂离子垂直分异规律的复杂性, 张彭熹(1987) 认为同一层晶间卤水钾含量随着深度的增加而递减, 而别勒滩区段卤水中锂离子含量自上而下逐渐变高。此次测量肯定了这些规律, 同时部分孔具有钾和锂离子含量从上到下基本不变的特征。

2.3　镁离子浓度和深度的线性关系

从表 5 中可以看出, 镁离子浓度基本上随着深度的增加而增加, 但线性关系远远不如钾离子和锂离子, 有两个孔 b－9 和 b－11 镁离子随着深度的增加反而浓度减少。进一步说明别勒滩区段晶间卤水离子垂直分异的复杂性。

表 5　镁离子浓度和深度的线性关系

Table 5　The linear relationship between Mg^{2+} concentration and the depth

孔号	深度范围/m	Mg^{2+}		
		K	R^2	正负相关性
b－1	4.5～12	0.103 1	0.43	＋
b－2	2～6.5	0.140 4	0.870 2	＋
b－3	2～5.5	0.063 3	0.042 8	＋
b－5	3～7	可忽略	0.942 3	基本不变
b－6	2～13.6	2.214 8	0.520 5	＋
b－7	2.1～11.8	可忽略	0.096 5	基本不变
b－8	6.5～13	1.325 9	0.865 2	＋
b－9	4.3～9	－0.407 5	0.548	－
b－10	6～12	1.891 9	0.873 6	＋
b－11	3.5～10	0.201	0.711 3	－
b－12	1.5～4.5	可忽略	0.066 7	基本不变
b－13	2.5～7.8	可忽略	0.550 2	基本不变

2.4　镁离子和钾离子的散点图

从图 3 中可以看见镁含量在 60 g/L 为一个转折点, 当镁含量超过 60 g/L 时钾含量随着镁含量的升高而减少。说明到达一定浓度镁离子和钾离子存在一个相互制约的问题。

2.5　钾离子含量的两个关键点

1) 钾离子和镁离子散点图。由图 4 我们可以看出, 当钾离子含量小于 14 g/L 之间时镁离子含量同钾离子成正相关; 当钾离子含量大于 14 g/L 小于 19.4 g/L 时, 镁离子含量基本不变; 当钾离子含量大于19.4 g/L时, 镁离子含量同钾离子成负相关。

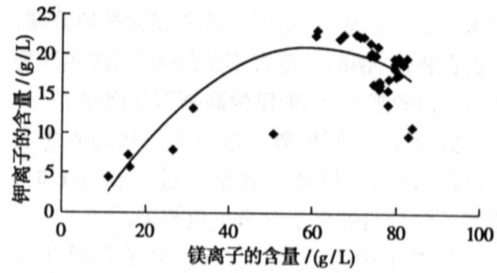

图 3　镁离子和钾离子含量的关系

Fig 3　The relationship of the Mg^{2+} and K^{+} contents

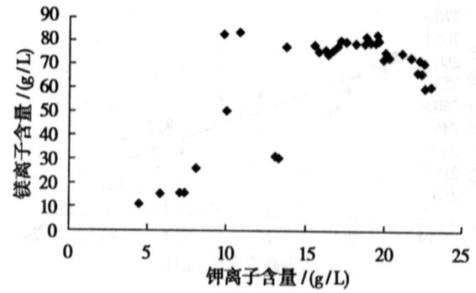

图 4　钾离子和镁离子含量的关系

Fig 4　The relationship of the K^{+} and Mg^{2+} contents

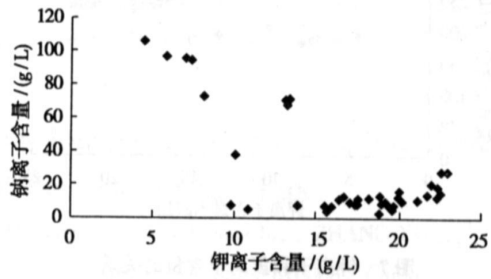

图 5　钠离子和钾离子含量的关系

Fig 5　The relationship of the Na^{+} and K^{+} contents

2) 钾离子和钠离子散点图。从图 5 中可以看到, 当钾离子含量在 4～14 g/L 之间时钠离子含量随着钾离子含量增加而迅速减少, 当钾离子含量在 14 g/L 以上, 钠离子含量基本趋于稳定, 都在 20 g/L 以下。

当钾离子含量低于 14 g/L 时, 该阶段钠的含量都很高。从图中可以看到, 当钾离子含量在 4～14 g/L 之间时钠离子含量随着钾离子含

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnk

量增加而迅速减少；而同一阶段镁含量的升高，石盐在析出，钠的含量在不断的减少，按照郑秀清(1997)的观点，该阶段为高钾石盐卤水。

3) 钾离子和氯离子散点图。从图 6 中我们可以看出，当钾离子含量超过 19.4 g/L 时，氯离子含量与钾离子含量呈负相关。

从图 7 中可以得出，当钾离子含量小于 19.4 g/L 时，氯离子含量基本变化不大，但是在钾离子含量在 14 g/L 左右时有一个含量的“跃迁”，从 190 g/L 左右，“跃迁”到 260 g/L 左右。

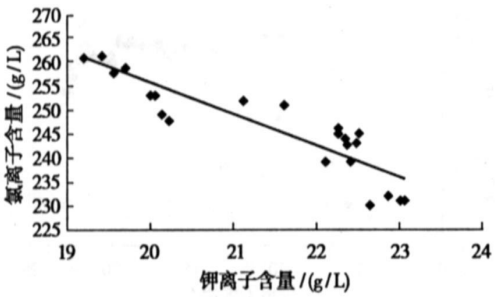

图 6 钾离子与氯离子含量的关系
(钾离子含量大于 19.4 g/L 时)

Fig 6 The relationship of the K^+ and Cl^- contents ($K^+ > 19.4$ g/L)

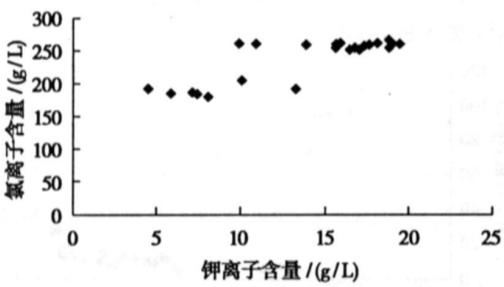

图 7 钾离子和氯离子含量的关系
(钾离子含量小于 19.4 g/L 时)

Fig 7 The relationship of the K^+ and Cl^- contents ($K^+ < 19.4$ g/L)

4) 钾离子和矿化度散点图。从图 8 中可以看出钾离子和矿化度基本上为正相关。从图 9 可以看出钾含量超过 19.4 g/L 时，钾含量和矿化度变为负相关。钾离子含量在 14 g/L 和 19.4 g/L 时，似乎是两个转折点，钾离子同镁离子、钠离子、氯离子和矿化度的正负相关性或者含量发生突然变化。

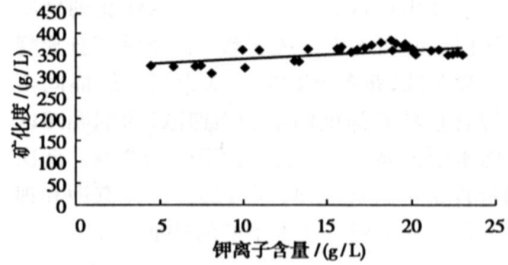

图 8 钾离子含量和矿化度的关系

Fig 8 The relationship between K^+ content and the mineralization of the brine

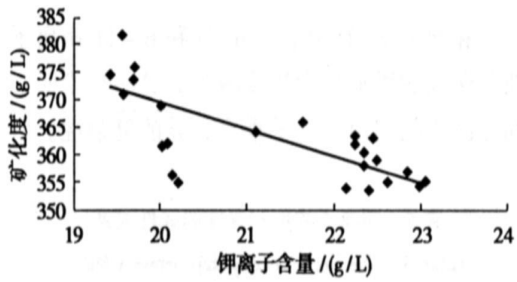

图 9 钾离子含量和矿化度的关系
(当钾离子含量大于 19.4 g/L 时)

Fig 9 The relationship between K^+ content and the mineralization of the brine ($K^+ > 19.4$ g/L)

2.6 矿化度与深度

从表 6 中可以看出，矿化度同深度关系大多数孔呈负相关性，少部分孔呈正相关性，有一个孔矿化度基本不变。这些转折点可能是含砂粘土层或者和地层物质变化有关。

表 6 矿化度和深度的关系

Table 6 The relationship between mineralization and depth of the brine

孔号	孔深范围/m	转折点/m	正负相关性
b—1	4.5~12	9~10	负相关
b—2	2~6.5		正相关
b—3	2~5.5		负相关
b—5	3~7		负相关
b—6	2~13.6	6~10	负相关
b—7	2.1~11.8	7~10	负相关
b—8	6.5~13		矿化度变化不大
b—9	4.3~9	5~6	负相关
b—10	6~13.7	8~10	正相关
b—11	3.5~10	6~8	负相关
b—12	1.5~4.5		正相关
b—13	2.5~7.8	4~10	负相关

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnk

3 结　论

① 察尔汗盐湖别勒滩区段的晶间卤水, 钾离子浓度一般随着深度的增加而减小, 锂离子浓度一般随着深度的增加而增加, 但是异常的情况也存在。为何钾离子和锂离子往往同时出现变化异常, 为何异常孔中的钾和锂离子浓度呈线性关系, 并且是负相关性, 值得我们再深一步研究;

② 察尔汗盐湖 4 个区段的晶间卤水的离子浓度在空间分布有一定的规律性。从东到西 Ca^{2+} 含量依次递减, Mg^{2+} 含量依次递增, Na^{+} 含量依次递减, Li^{+} 含量依次递增, Cl^{-} 含量依次递增;

③ 区段的晶间卤水的锂离子、钾离子和镁离子含量都很高;

④ 镁离子浓度随着深度增加浓度也在增加, 但同时也有随着深度增加浓度减少的个例。镁离子浓度小于 60 g/L, 随着镁离子浓度与钾离子浓度呈正相关性, 镁离子浓度大于 60 g/L, 镁离子浓度和钾离子浓度呈负相关性;

⑤ 钾离子含量有两个转折点, 转折点附近钾离子同镁离子、钠离子、氯离子和矿化度的正负相关性或者含量发生突然变化。某些孔在某一深度, 矿化度会出现变化异常, 或者是回跳或者是突然转折。

致谢: 吕亚萍、曹海霞、李海军实验师测定了全部样品, 在此表示感谢。

参考文献:

[1] 张彭熹, 等. 柴达木盆地盐湖[M]. 北京: 科学出版社, 1987. 92—93, 216—221.

[2] 于升松, 等. 察尔汗盐湖首采区钾卤水动态及其预测[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 33—59.

[3] 梁青生, 黄麒. 青海察尔汗盐湖达布逊段和别勒滩区段的成盐年代[J]. 沉积学报, 1995, 13(3): 126—131.

[4] 中国科学院青海盐湖研究所分析室. 卤水和盐的分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 35—75.

[5] 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): 502—508.

[6] 刘兴起, 于升松, 等. 察尔汗盐湖 91—Ⅳ4+孔沉积地层元素地球化学的研究[J]. 湖泊科学, 1995(17): 321—326.

[7] 郑秀清, 席临平. 察尔汗盐湖首采区晶间卤水水化学分异特征的统计研究[J]. 西安地质学院学报, 1997, 19(2): 58—63.

[8] 胡云峰. 浅议别勒滩首采区卤水化学成分变化趋势[J]. 青海地质, 1993(2): 57—63.

[9] O. Kilic, A. M. Kilic. Recovery of salt co-products during the salt production from brine[J]. Desalination, 2005(186): 11—19.

[10] Song Shuguang, Li Su, et al. Petrological and geochemical constraints on the origin of garnet peridotite in the North Qaidam ultrahigh-pressure metamorphic belt, northwestern China[J]. Lithos, 2007(01526): 1—23.

Distribution Characteristics of the Main Ions in the Intercrystalline Brine of the Bieletan Regions of the Qarhan Salt Lake

TIAN Run[1,2], HAN Feng-qing[1], MA Hai-zhou[1], LIU Yong-ping[3], GAO Dong-lin[1], ZHANG Xi-ying[1]

(1. *Qinghai Institute of Salt Lakes*, *Chinese Academy of Sciences*, *Xining*, 810008, *China*;
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing*, 100039, *China*;
3. *The No*. 1 *Team of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province*, *Xining*, 810600, *China*)

Abstract: The distribution characteristics of the main ions in the intercrystalline brine of the Bieletan regions of the Qarhan salt lake were studied by analyzing the samples sampled from the field. 53 samples of the intercrystalline brine were collected and analyzed. The results show that the K^{+} concentration decreases with the increase of depth generally which is the opposite of Li^{+}, while the Mg^{2+} has the same trend with Li^{+} except for some abnormities. There exists an enriched area of Li^{+} and B_2O_3 in the spacial distribution, and the further away from the area, the low contents of the ions. While there are two critical points of K^{+} content, and the concentration and mineralization of the corresponding ions would change in a certain way near the two points.

Key words: Qarhan salt lake; Bieletan; Intercrystalline brine; Ion distribution

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnk