

文章编号: 1000-0550(2006) 01-0096-11

塔里木盆地西部卤水地球化学特征及成钾远景预测

马万栋¹ 马海州²

(1 河南大学环境与规划学院 河南开封 475004; 2 中国科学院盐湖研究所 西宁 810008)

摘 要 在塔里木盆地的地质发展史上,尤其是在白垩纪和第三纪,经历了多次新特提斯海的海进和海退,带来了大量成盐物质,再加上后期持续干旱的气候条件和适宜的岩相古地理条件,使塔里木盆地沉积了一套厚层石盐岩、膏泥岩、碳酸盐岩以及泥质岩等,为钾盐资源的形成奠定了一定物质基础,同时由于受地质构造和中生代盆地断裂的控制所形成的若干次级盆地,加上适宜的古地理环境,使其具备了钾盐矿床形成的基本条件。通过野外实地考察取样,采集岩盐及卤水样品共 300 多件,用于实验分析的共 142 件(卤水 43 件)。通过对塔里木盆地西部卤水的地球化学特征分析,讨论了寻找钾盐的直接指标 K^+ 含量和各种地球化学特征系数,探讨了塔里木盆地的成盐模式、卤水浓缩阶段和成钾可能性,得出:塔里木盆地的钾盐远景区是喀什凹陷和阳霞凹陷;依据溴和硼含量以及各种特征系数值与正常卤水浓缩值比较,可知塔里木盆地是溴和硼等微量元素含量较少的地区,不能完全依靠这些特征参数来判断塔里木盆地的卤水浓缩程度和钾盐资源状况,同时也说明了塔里木盆地是一个成盐环境相对比较复杂的地区。

关键词 塔里木盆地西部 钾盐 地球化学特征系数 钾盐远景区

第一作者简介 马万栋 男 1977 年出生 助教 资源与环境地球化学及遥感应用

中图分类号 P592 **文献标识码** A

1 前言

钾盐是钾肥的主要原料,钾是农作物生长的三大要素(氮、磷、钾)之一,它在农业和工业上应用十分广泛。解放前,我国的钾盐资源是一片空白^[1],为解决农业之需,1951 年兰州大学教授戈福祥上书中央人民政府政务院,要求调查青海盐湖资源。1955 年,因修建敦煌至格尔木公路发现了闻名于世的察尔汗盐滩。从 20 世纪 50 年代到目前,我国已经发现的钾盐矿主要是在青海的柴达木盆地察尔汗盐湖^[2]、新疆塔里木盆地罗布泊、云南勐野、江汉盆地等地区^[3~5],而对我国第三纪地层广泛发育的新疆塔里木盆地研究仍处于低潮阶段。塔里木盆地的钾盐调查工作始于 20 世纪 40 年代,袁见齐教授^[6]当时参加西北盐产调查团,对库车一带的岩盐做了概略描述,解放后,国家针对我国钾盐资源紧缺的状况开展了大规模钾盐调查工作。70 年代以来,对库车、莎车盆地含盐系地层的划分、对比、岩相古地理演化、地质构造特征等进行了较详细的研究,并提出了一些可能成钾的有利区域;70 至 80 年代开展了油盐兼探研究及库车盆地浅部钾矿普查的钻孔研究,通过石油钻孔对个别地区深部岩盐含钾情况做了初步调查,同时在库车盆地进行了百米内浅钻,对这一地区的盐矿点浅部岩盐

做了初步调查、评价,但研究仍处于初期阶段,没有突破性进展,工作仅限于地质普查阶段,有待进一步对该区进行研究工作。

2 地质背景

塔里木盆地位于新疆维吾尔自治区南部,夹在天山山脉和昆仑山山脉之间,面积约 $5.6 \times 10^5 \text{ km}^2$,是我国最大的沉积盆地。塔里木地区经过元古代末期地壳的回返运动抬升为塔里木古陆^[7,8],各种变质深浅不一的岩石构成了塔里木盆地的基底。经过古生代、中生代和新生代的几经沧桑,在变质基底上不断发生海侵、海退和抬升,造成了各类不同的沉积环境,接受从震旦纪以来各时期不同类型的沉积物^[9,10]。晚三叠世开始一直到中新世^[11],发育了两个巨大的前陆盆地——库车凹陷和塔西南凹陷(见图 1),分别位于天山山前和昆仑山山前,共以中央隆起做为他们的前陆隆。从晚白垩纪到早第三纪这一地质历史上重要的成盐阶段^[12],塔西南凹陷^[13]和库车凹陷^[14~16]多次受到了新特提斯海入侵的影响。

2.1 库车凹陷

北部和东部地区,包括拜城—库车一线和盆地东部地区,由于燕山早期运动,天山抬升、库车—拜城急剧下沉的相对发展,造成了地势差异,因此早白垩世

收稿日期: 2005-03-22 收修改稿日期: 2005-06-06

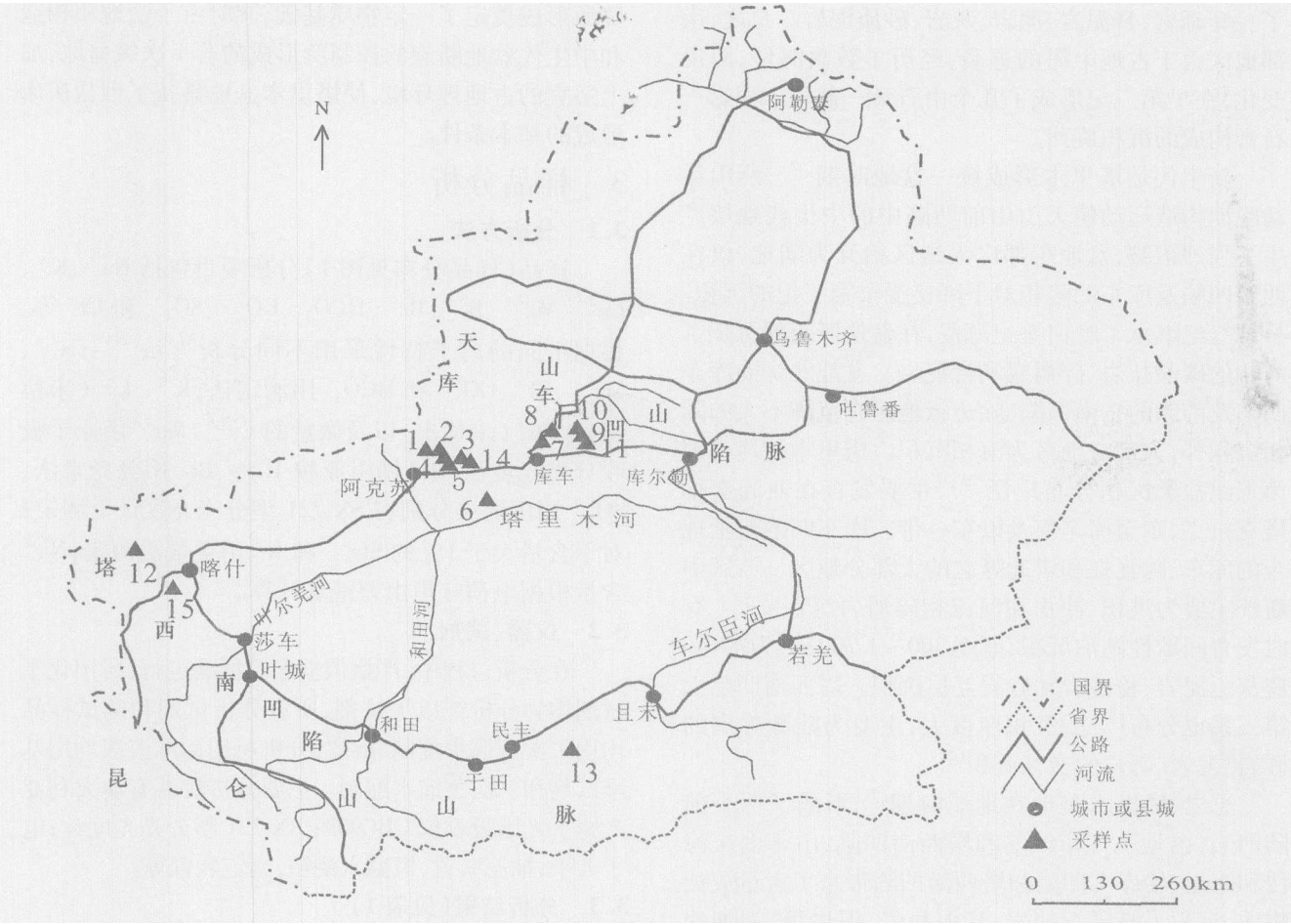


图 1 塔里木盆地西部样点分布图

- 1 盐山口 2 包孜敦 3 盐水沟 4 大宛其 5 红山 6 温什 7 康村西 8 马什基齐克 9 轮台煤矿 10 土孜勒克
11 阳霞 12 乌克沙鲁 13 库牙克东 14 米斯坎塔克 15 塔什米力克

Fig 1 The distribution of samples in western Tarim Basin

在凹陷边缘形成了百余米厚的洪积相砾岩沉积^[17-18]。随着填齐补平作用,地势差异减小,河流纵横交织,广大地区发育了河流相砾岩、砂岩及砾状砂岩沉积。随着时间推移,地势进一步平坦化,河流携带能力减弱,在构造凹陷区河水汇集、湖泊密布,发育了杂色砂岩、泥岩和棕红色砂质泥岩、砂质沉积,气候由半干旱向干旱转化。晚白垩世盆地东部和北部地区大面积抬升成为古陆,除拜城附近有少量沉积外,其他地区没有接受沉积。北部地区在早第三纪沉积相的发展以陆相沉积为主。在凹陷的北部边缘为山麓洪积相的粗碎屑沉积,向南至中心部分变为浅湖相砂泥岩沉积。由于地势下沉,湖泊相沉积不断扩大,在海水进入时可在碎屑岩层产生薄层灰岩及石膏层。这是海水退去后残余高咸度的湖泊沉积。在下第三系出现的三层膏泥岩层,与南部的三次海水进袭密切

关联。总之,北部凹陷在早第三纪以湖泊相发育为主,形成三个半咸—高咸浅水湖泊的红色砂泥岩—膏泥岩的沉积旋回,一直到中新世^[19-21]。

2.2 塔西南凹陷

该区早白垩世继承了晚侏罗世的沉积,由晚侏罗世洪积相砂砾岩发展为陆相平原河流相沉积,沉积了一套以砖红色为主的块状交错石英砂岩和石英杂砂岩,厚达 1 000 m 以上。早白垩世末的燕山中期运动,使喀什—皮山一线以南的昆仑山前地带受海侵的影响,使古地中海海水从西部进入本区,形成一个狭窄的带状海湾,沉积了一套台地—泻湖相的灰岩、膏泥岩、白云岩和石膏。古地中海海水从晚白垩世侵入塔里木西南边缘,一直到早第三纪几经进退,形成了石膏—碳酸盐岩—泥岩的海进沉积序列。塔西南凹陷第三系共经历了三次海进到海退的演化历程,沉积

了一套砾岩、膏泥岩、泥岩、灰岩、砂质泥岩。总之,南部地区由于古地中海的进袭,经历了数次海侵、海退变化,在早第三纪形成了几个由石膏—灰岩—泥岩—石膏构成的沉积旋回。

新生代是塔里木形成统一盆地时期^[22],燕山运动晚期构造运动使天山山前凹陷中的中生代地层产生了强烈褶皱,盆地东部广大地区抬升为陆地,仅在西南凹陷及库车凹陷相对下降接受早第三纪的沉积。早第三纪继承了晚白垩纪海侵,在盆地西南部沉积了海相的碳酸盐岩、碎屑岩和膏泥岩。盆地北缘的库车凹陷及南缘的东南凹陷,除边缘地区有范围不大的陆相沉积外,大部分地区为海相沉积。塔里木盆地北部第三纪盐类沉积分布广泛^[23],主要发育在西起温宿塔克拉克,东至库车河及以东一带。库车凹陷包括现今的库车、阿瓦提和塔北隆起的大部分地区。该区中新统主要为洪积、冲积和河流相碎屑岩沉积^[24, 25],有时发育间歇性湖泊沉积,厚度 300~1 700 m,为褐色、蓝灰色泥岩、粉砂岩和砂岩互层沉积。塔西南凹陷上第三系也分布广泛,沉积厚度大,主要为陆源碎屑的砂岩、泥岩、砾岩的交互沉积^[26]。

总之,塔里木盆地在地质时期^[27]形成了两个前陆凹陷(盆地):库车凹陷和塔西南凹陷,由于多次海侵和海退,给库车凹陷和塔西南凹陷带来了大量成盐物质,沉积了厚层石盐岩、膏泥盐岩、泥岩等,为钾盐

资源形成奠定了一定物质基础,同时由于受地质构造和中生代盆地断裂的控制所形成的若干次级盆地,加上适宜的古地理环境,使塔里木盆地具备了钾盐矿床形成的基本条件。

3 样品分析

3.1 分析方法

样品(样品分布见图 1)分析项目包括 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 B^{3+} 、 Br^- 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 等。根据不同的离子特性采用不同分析方法^[28]: Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 用滴定法; K^+ 、 Li^+ (未检出)、 Rb^+ (未检出)以及微量的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 用原子吸收分光光度法; B^{3+} 用甲亚胺-H 法、 Br^- 用荧光素法、 SO_4^{2-} 用沉淀法分别在 SX-721 型分光光度计上测定;对于含量大于 1% 的 SO_4^{2-} 和 K^+ 用重量法测定; Na^+ 含量根据电荷守恒由差减法计算。

3.2 仪器、试剂

在分析过程中,严格依据实验标准进行,所用化学试剂均为分析纯以上试剂,所有分析试剂和测试样品均用二次蒸馏水配制、溶解;分析所用标准溶液均用基准试剂和二次蒸馏水配制。主要分析仪器有澳大利亚产原子光谱吸收仪 GBC908 SX-721 型分光光度计;电子天平,抽滤装置,恒温水浴箱,滴定装置等。

3.3 分析结果(见表 1)

表 1 塔里木盆地西部盐泉卤水水化学组成 (g/L)

Table 1 The hydrochemical composition in brine from the western Tarim Basin (g/L)

地点(序号)	编号	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Br^- (mg/L)	B^{3+} (mg/L)	矿化度
盐山口 (1)	01	0.272	2.133	0.410	122.043	190.936	2.902	0.026	0.513	1.554	318.722
	02	0.200	1.590	0.222	123.935	191.630	3.846	0.021	0.408	1.399	321.443
	03	0.210	1.911	0.283	124.139	192.864	3.509	0.018	0.119	0.933	322.935
	04	0.223	1.899	0.303	123.597	192.479	2.972	0.016	0.595	1.010	321.489
	05	0.199	1.565	0.108	124.582	192.401	3.873	0.018	0.023	2.448	322.745
	平均	0.221	1.820	0.265	123.659	192.062	3.420	0.020	0.332	1.469	321.467
包孜敦 (2)	01	0.200	1.638	0.325	119.919	185.728	3.807	0.042	0.665	0.816	311.658
	02	0.275	2.113	0.076	123.101	191.321	3.204	0.023	0.550	0.933	320.112
	03	0.145	1.851	0.120	122.933	190.396	3.359	0.024	0.408	0.933	318.827
	04	0.178	1.722	0.103	122.683	189.778	3.435	0.026	0.608	0.661	317.924
	05	0.196	1.976	0.195	122.632	190.473	3.095	0.027	1.091	1.243	318.595
	06	0.332	2.777	0.195	121.882	191.321	2.527	0.021	0.995	0.855	319.055
	07	0.291	2.173	0.122	123.021	191.321	3.320	0.023	0.657	1.010	320.270
	08	0.275	1.855	0.508	122.140	190.396	3.562	0.023	0.512	1.243	318.759
	平均	0.236	2.013	0.205	122.289	190.092	3.289	0.026	0.686	0.962	318.150
盐水沟 (3)	01	0.228	2.253	0.598	121.414	190.627	2.834	0.020	0.773	0.194	317.974
	02	0.252	1.851	0.456	123.695	192.633	3.264	0.023	0.969	1.477	322.174
	03	0.252	1.811	0.449	123.627	192.479	3.287	0.021	0.838	1.205	321.926
	平均	0.244	1.972	0.501	122.912	191.913	3.128	0.022	0.860	0.958	320.691

大宛其 (4)	01	0.083	6.065	3.204	35.407	74.620	0.062	0.153	11.558	0.046	119.653
	02	0.103	1.554	0.113	123.520	190.860	3.778	0.006	0.308	0.225	319.933
	03	0.148	1.630	0.161	119.368	184.840	3.637	0.012	0.261	0.199	309.797
	平均	0.111	3.083	1.159	92.765	150.107	2.492	0.057	4.042	0.157	249.794
红山 (5)	01	0.103	1.484	0.166	122.180	188.940	3.637	0.000	0.334	0.083	316.538
温巴什 (6)	01	0.052	0.591	0.403	9.113	12.510	4.777	0.404	0.452	0.206	27.894
康村西 (7)	01	0.340	1.476	0.543	110.520	171.280	4.944	0.006	1.034	0.418	289.110
	02	0.164	3.393	1.451	84.330	138.560	2.536	0.006	9.790	0.352	230.440
	平均	0.252	2.434	0.997	97.425	154.920	3.740	0.006	5.412	0.385	259.775
巴什基齐克 (8)	01	0.011	1.126	0.157	10.888	17.110	2.830	0.089	0.232	0.348	32.211
轮台煤矿 (9)	01	0.107	2.332	0.466	16.687	29.300	2.728	0.066	10.471	0.401	51.696
	02	0.262	2.889	0.703	48.864	79.410	4.457	0.090	17.678	0.635	136.675
	03	0.095	1.655	0.351	14.129	23.290	3.343	0.120	8.091	0.379	42.982
	04	0.129	2.107	0.479	19.638	32.640	3.842	0.087	14.346	0.532	58.921
	平均	0.148	2.246	0.500	24.830	41.160	3.593	0.091	12.647	0.487	72.569
土孜勒克 (10)	01	0.153	0.555	0.144	99.574	142.660	16.778	0.084	2.611	3.366	259.948
	02	0.005	0.648	0.087	1.427	2.170	1.870	0.083	0.000	0.094	6.287
	平均	0.079	0.602	0.115	50.501	72.415	9.324	0.084	1.306	1.730	133.118
阳霞 (11)	01	0.384	0.156	3.792	133.104	170.050	63.397	0.174	3.971	11.110	371.057
	02	0.268	0.659	1.504	93.150	143.080	8.581	0.050	34.676	6.157	247.292
	平均	0.326	0.407	2.648	113.127	156.565	35.989	0.112	19.324	8.634	309.175
乌克沙鲁 (12)	01	0.040	0.563	0.173	0.817	1.157	2.087	0.169	0.119	1.088	5.006
	02	0.375	1.006	1.870	114.589	178.207	7.203	0.053	36.129	30.192	303.302
	03	0.408	0.913	1.999	119.306	187.120	6.314	0.034	47.185	2.381	316.442
	平均	0.208	0.785	1.022	57.703	89.682	4.645	0.111	18.124	15.640	154.154
库牙克东 (13)	01	0.063	0.153	0.561	4.627	6.712	2.638	0.752	0.072	0.000	15.507
	02	0.079	0.181	0.866	4.242	6.557	3.346	0.733	0.103	0.000	16.004
	03	0.012	0.081	0.122	0.124	0.231	0.389	0.314	0.010	0.000	1.274
	04	0.088	1.449	0.334	122.349	188.351	4.075	0.261	0.155	0.816	316.907
	平均	0.061	0.466	0.471	32.836	50.463	2.612	0.515	0.085	0.204	87.423
米斯坎塔克 (14)	01	0.202	1.964	0.371	123.733	192.324	3.027	0.020	1.985	1.321	321.640
塔什米力克 (15)	01	0.128	2.797	0.976	39.886	65.960	3.243	0.063	8.671	0.000	113.053
	02	0.271	1.525	0.312	114.860	176.664	4.561	0.024	1.905	0.971	298.218
	03	0.297	1.642	0.383	113.915	175.738	4.336	0.048	7.381	2.215	296.360
	平均	0.232	1.988	0.557	89.554	139.454	4.047	0.045	5.986	1.062	235.877

4 分析讨论

盐泉是地下水与含盐系相互作用后出露地表的露头,地下水与钾盐矿层相互作用必将赋予地下水来自钾盐矿床的特殊化学组分,于是便可以把这些特殊的化学组分作为水化学找钾的重要标志。水化学找钾^[29~31]是寻找大型钾盐矿床重要的地球化学方法,由于水具有很大流动性,它是大多数钾盐矿床很好的指示剂,绝大多数钾盐矿床都是根据出露地表或钻探深层盐水或卤水^[32]而发现的。在盐类沉积周围可遇到两种不同类型卤水:一种是由母卤或沉积卤水所形成的,能指示盐盆地内海水蒸发及盐类沉积的发展阶段;另一种是由溶解矿层的水所形成的,可以说明固相沉积物中盐的组分。野外采集的卤水大部分都是岩盐溶滤水,因此,对这些卤水分析研究能有效指示深覆底部岩盐的化学组分。

4.1 卤水水化学类型及矿化度

盐泉卤水按其离子组成可分为三种类型^[33]:氯化物型、硫酸盐型和碳酸盐型。三种卤水类型中氯化物型卤水对于找钾工作是最重要的。在所有卤水样品中,除少数几个样品外,其余样品水化学类型基本都是氯化物型(见表2)。

水化学法找矿首要任务是寻找和采集高矿化度的卤水。在野外工作中尽可能采集所有出露地表的水样,但首先是取出露或找到高矿化度的水。按照常规方法把矿化度分为五级:矿化度小于26g/L的,不论其他系数值多高,均为无异常值;矿化度在26~167g/L之间的,为低异常区;在167~327g/L之间的,为异常区;大于327g/L的,为高异常区。在分析的卤水样品中,其中温巴什、巴什基奇克、轮台煤矿和

表 2 塔里木盆地西部盐泉卤水水化学参数

Table 2 The hydrochemistry parameters of brines from the western Tarim Basin

地点 (序号)	编号	水化学类型	K* 10 ³ /Cl	K /Br	nM g/nCl	Br× 10 ³ /Cl	nNa/nCl	B× 10 ³ /Cl	K × 10 ³ /Σ 盐
盐山口 (1)	01	氯化物	1 424	529 706	0.0031	0.003	0.986	0.008	0.853
	02	氯化物	1 045	490 434	0.0017	0.002	0.997	0.007	0.623
	03	氯化物	1 088	1768.498	0.0021	0.001	0.993	0.005	0.650
	04	氯化物	1 158	374 573	0.0023	0.003	0.990	0.005	0.693
	05	氯化物	1 034	8529.704	0.0008	0.000	0.999	0.013	0.617
	平均	氯化物	1 149	665 589	0.0020	0.002	0.993	0.008	0.687
包孜敦 (2)	01	氯化物	1 078	301 144	0.0025	0.004	0.996	0.004	0.642
	02	氯化物	1 435	498 700	0.0006	0.003	0.992	0.005	0.858
	03	氯化物	0 763	356 462	0.0009	0.002	0.996	0.005	0.456
	04	氯化物	0 936	291 956	0.0008	0.003	0.997	0.003	0.559
	05	氯化物	1 031	179 958	0.0015	0.006	0.993	0.007	0.616
	06	氯化物	1 734	333 437	0.0015	0.005	0.982	0.004	1.040
	07	氯化物	1 519	442 618	0.0009	0.003	0.992	0.005	0.908
	08	氯化物	1 442	536 338	0.0039	0.003	0.989	0.007	0.861
	平均	氯化物	1 243	344 686	0.0016	0.004	0.992	0.005	0.743
盐水沟 (3)	01	氯化物	1 195	294 862	0.0046	0.004	0.982	0.001	0.716
	02	氯化物	1 308	260 000	0.0035	0.005	0.990	0.008	0.782
	03	氯化物	1 309	300 603	0.0034	0.004	0.990	0.006	0.782
	平均	氯化物	1 271	283 633	0.0038	0.004	0.988	0.005	0.760
大宛其 (4)	01	氯化物	1 118	7 216	0.0626	0.155	0.734	0.001	0.697
	02	氯化物	0 537	332 968	0.0009	0.002	0.999	0.001	0.321
	03	氯化物	0 803	568 490	0.0013	0.001	0.997	0.001	0.479
	平均	氯化物	0 742	27 569	0.0113	0.027	0.910	0.001	0.446
红山 (5)	01	氯化物	0 543	307 048	0.0013	0.002	0.998	0.000	0.324
温巴什 (6)	01	硫酸钠	4 186	115 858	0.0470	0.036	1 125	0.016	1.877
康村西 (7)	01	氯化物	1 987	329 199	0.0046	0.006	0.996	0.002	1.177
	02	氯化物	1 181	16 716	0.0153	0.071	0.940	0.003	0.710
	平均	氯化物	1 627	46 567	0.0094	0.035	0.968	0.002	0.970
巴什基齐克 (8)	01	氯化物	0 638	47 026	0.0134	0.014	0.982	0.020	0.339
轮台煤矿 (9)	01	氯化物	3 649	10 211	0.0232	0.357	0.880	0.014	2.068
	02	氯化物	3 297	14 812	0.0129	0.223	0.950	0.008	1.916
	03	氯化物	4 060	11 686	0.0220	0.347	0.937	0.016	2.200
	04	氯化物	3 944	8 974	0.0214	0.440	0.929	0.016	2.185
	平均	氯化物	3 596	11 704	0.0177	0.307	0.924	0.012	2.040
土孜勒克 (10)	01	硫酸钠	1 071	58 499	0.0015	0.018	1 078	0.024	0.588
	02	硫酸钠	2 362	0 000	0.0585	0.000	1 016	0.043	0.815
	平均	硫酸钠	1 090	60 462	0.0023	0.018	1 047	0.024	0.593
阳霞 (11)	01	硫酸钠	2 258	96 709	0.0325	0.023	1 208	0.065	1.035
	02	硫酸钠	1 876	7 740	0.0153	0.242	1 005	0.043	1.085
	平均	硫酸钠	2 084	16 881	0.0247	0.123	1 107	0.055	1.055
乌克沙鲁 (12)	01	硫酸钠	34 920	340 437	0.2180	0.103	1 088	0.940	8.073
	02	氯化物	2 106	10 388	0.0153	0.203	0.992	0.169	1.237
	03	硫酸镁	2 180	8 647	0.0156	0.252	0.991	0.013	1.289
	平均	氯化物	2 318	11 469	0.0166	0.202	1 040	0.174	1.348
库牙克东 (13)	01	硫酸钠	9 423	876 042	0.1219	0.011	1 063	0.000	4.079
	02	硫酸钠	12 058	766 112	0.1926	0.016	0.998	0.000	4.940
	03	氯化物	53 149	1194.044	0.7689	0.045	0.829	0.000	9.655
	04	氯化物	0 466	566 758	0.0026	0.001	1 002	0.004	0.277
	平均	氯化物	1 201	711 650	0.0136	0.002	0.973	0.004	0.693
米斯坎塔克 (14)	01	氯化物	1 051	101 792	0.0028	0.010	0.992	0.007	0.628
塔什米力克 (15)	01	氯化物	1 944	14 792	0.0216	0.131	0.933	0.000	1.134
	02	氯化物	1 534	142 285	0.0026	0.011	1 003	0.005	0.909
	03	氯化物	1 689	40 205	0.0032	0.042	1 000	0.013	1.001
	平均	氯化物	1 664	38 761	0.0058	0.043	0.978	0.008	0.984

库牙克五个地点的卤水矿化度在 26~167 g/L 之间,属于低异常区;其余矿化度都在 167~327 g/L 之间,为异常区。由于大多数卤水样品都是直接从盐层内部渗出,除少数几个河水(土孜勒克 02、库牙克 03—04)和淡水样品外,基本都呈饱和状态,卤水矿化度普遍较高,都在 300 g/L 左右,比塔里木盆地盐湖或晶间卤水还高^[34 35]。

4.2 常量及微量离子含量变化特征与找钾研究

常量离子中, Na^+ 、 Cl^- 占绝对优势^[36], Mg^{2+} 和 HCO_3^- 含量较低, CO_3^{2-} 没有检出,水化学类型基本都属氯化物型,只有库牙克、乌克沙鲁、阳霞、吐孜勒克和温巴什等几个淡水或河水样品为硫酸盐型。对找钾的直接标志—— K^+ 离子的绝对含量而言,浓度都不很高,44 个样品浓度均低于 1 g/L,相对情况下,盐山口、包孜敦、盐水沟、康村西、阳霞、乌克沙鲁、米斯坎塔克和塔什米力克等的 K^+ 离子浓度相对较高,在 0.202~0.326 g/L 之间。库牙克盐泉水(01~02)及河水(03~04)和土孜勒克 K^+ 离子浓度普遍较低,平均分别为 0.061 g/L、0.079 g/L;包孜敦几处卤水样品分布于盐山纵向沟谷(从上至下依次编号为包孜敦 01~08),都是盐泉水样, K^+ 离子浓度相对较高,且纵向剖面上没有出现明显的异常高值;乌克沙鲁盐矿点东西两个泉水样 K^+ 离子浓度相差较大,盐度高的样品 K^+ 离子浓度为 0.375 g/L(最高为 0.408 g/L),盐度低的样品 K^+ 离子浓度则为 0.040 g/L,只有前者的十分之一。其它常量离子的变化趋势几乎与 K^+ 离子同步,总体上所有样品常量离子中没有出现异常高值。

卤水中微量元素^[37~39]溴和硼^[40~42]的含量变化,能够指示卤水所穿滤岩层的沉积环境。总的来看,塔里木盆地西部岩盐出露区卤水中 Br、B 含量都很低(见表 1),Br 含量最高 47.185 mg/L(乌克沙鲁 03),B 含量最高 30.192 mg/L(乌克沙鲁 02),低者未检出。其中,溴和硼含量相对较高的盐矿点有乌克沙鲁、阳霞、轮台煤矿和塔什米力克等,溴含量分别为:18.124 mg/L、19.324 mg/L、12.647 mg/L、5.986 mg/L,其中最高的是乌克沙鲁(乌克沙鲁 02)达到了 47.185 mg/L;这几个盐矿点硼含量分别为:15.640 mg/L、8.634 mg/L、0.487 mg/L、1.062 mg/L,其中硼含量最高的是 30.192 mg/L(乌克沙鲁 02)。从溴和硼相对含量来看,含量都比较高的是乌克沙鲁,其溴和硼平均分别为 18.124 mg/L 和 15.640 mg/L。其次是阳霞(溴为 19.324 mg/L,硼为 8.634 mg/L)。这些数值都低于正常海水平均含量(溴为 67.3 mg/L,硼为 4.3 mg/L)。

总的说来,塔里木盆地盐泉卤水中 Br 的含量远低于正常海水值,B 的平均含量低于正常海水 2~3 倍^[43],与海水浓缩析盐之后的残余卤水(Br 约 500 mg/L, B 约 50 mg/L)相比,更是相差甚远。如果按照正常的海相成盐理论,那么塔里木盆地应该没有达到石膏和石盐沉积的阶段,但实际情况是在野外找到了大面积的石膏和石盐沉积^[44 45],这与理论假设是不符合的,也就是说,不能按照正常的海相成盐理论来推测塔里木盆地的成盐沉积环境,也证实了塔里木盆地的成盐沉积环境的复杂变迁史。

4.3 钾盐卤水水化学各种特征系数值及其变化

溴在成盐过程中不形成单独矿物。当溶液在矿层中迁移时,溴并未从溶液中析出,而是在卤水浓缩过程中很有规律的分布在溶液和氯化物晶格中,它不会受到变质作用的影响。溴的浓度随着卤水浓缩而增加。同样,氯也是比较稳定的元素,在卤水蒸发析盐过程中,氯元素往往残留在母液中,不发生转移。微量元素硼是易溶元素,在自然界主要存在于水圈及上地壳沉积岩系中,对于沉积环境及各种地质作用具有明显的指示意义。卤水中硼含量随含盐度或浓缩程度成正比。钾盐水化学找矿,主要是根据钾、钠、镁、氯、溴离子来计算其相应的特征变质系数,来判别卤水的浓缩程度、盐类物质沉积阶段、探讨沉积环境等。文中主要采用了溴氯系数、钾氯系数、硼氯系数以及镁氯系数、钠氯系数、钾溴系数等几个指标(见表 2)来判别塔里木盆地西部是否可能存在钾盐矿床或钾盐远景区。

溴氯系数:溴氯系数($\text{Br} \times 10^3 / \text{Cl}$)是以重量形式计算的。含盐系或卤水中 $\text{Br} \times 10^3 / \text{Cl}$ 是判别蒸发沉积阶段的重要的地球化学标志,可以作为钾盐找矿的重要的地球化学标志。溴和溴氯系数(特别是溴氯系数)在含盐系研究中具有一定的作用,不仅可以指示卤水的浓缩程度,而且还可以预示钾盐矿物出现的可能。在塔里木盆地西部,该区的溴氯系数在 0~0.307 之间,最高的是轮台煤矿,四个样品中最高值达 0.440 其他三个样品分别为 0.223、0.347、0.357,平均值为 0.307,这是所有卤水样品中最高的,也是平均值最高的。其他盐矿点溴氯系数变化柱状图见图 2。这些溴氯系数特征值都没有达到海水的正常值(0.347),从溴的地球化学角度看,具有这种性质的卤水,一般为内陆湖盆或为内陆海等一些非典型海相成因的盆地,如土库曼斯坦,上侏罗—下白垩含盐系溴氯系数也相当低,只有 0.008~0.153。由此可见,当

含盐系中溴含量或溴氯系数比正常海水蒸发的标准低的多时,这种含盐系就可能属于陆相成因或受陆表水强烈影响的内陆海作为供源的非典型海相沉积。根据溴氯系数(平均值)变化柱状图,可知,溴氯系数特征值相对比较高的地点有轮台煤矿、乌克沙鲁、阳霞和塔什米力克,其值分别为 0.307、0.202、0.123、0.043。这比正常的海水溴氯系数值低数十倍,这同时也说明了塔里木盆地成盐模式的复杂性。

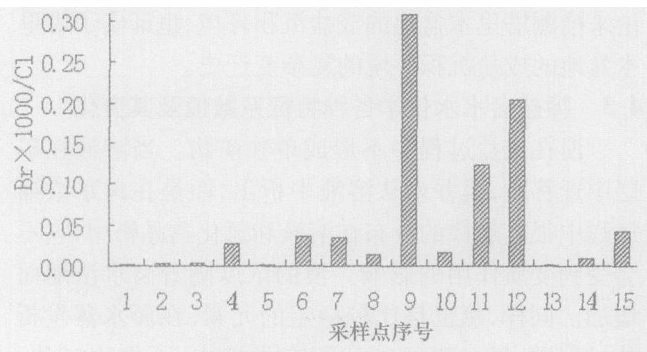


图 2 塔里木盆地西部卤水溴氯系数变化柱状图

Fig 2 The histogram of $\text{Br} \times 10^3 / \text{Cl}$ from brine in the western Tarim Basin

钾氯系数(钾盐系数): 钾氯系数($\text{K} \times 10^3 / \text{Cl}$)和钾盐系数($\text{K} \times 10^3 / \Sigma \text{盐}$)都是以重量形式计算的。这两个系数值随卤水浓度增高而上升,通常低于海水平均值,但是当有钾盐层存在时,水样中这个系数值较高。评价时由于钾氯系数和钾盐系数的变化趋势一致,因此为了便于比较采用了钾氯系数。由图 3 可知,钾氯系数值最高的是温巴什(4.186),其他水点钾氯系数值比较高的依次是轮台煤矿(3.596),乌克沙鲁(2.318),阳霞(2.084)和塔什米力克(1.664)。从钾氯系数值来看,温巴什、轮台煤矿、乌克沙鲁和塔什米力克都没有达到石盐沉积的阶段值(钾氯系数为 18.70),但是和其他地方相对比,这四个水点明显的高于其他水点值,也就是说这四个水点较其他水点已经显示出了卤水相对浓缩。

硼氯系数($\text{B} \times 10^3 / \text{Cl}$): 硼氯系数对于判别沉积环境、研究水岩作用、区域变质作用等都是行之有效地球化学参数之一。图 4 是硼氯系数随各水点的变化柱状图。由图 4 可知,硼氯系数值最高的是乌克沙鲁,达到了 0.174。其次,依次为阳霞(0.055),温巴什(0.016),其余较高的是巴什基奇克,土孜勒克。由此我们可以得出各水点的硼氯系数值都普遍比较低,由于硼具有很强的吸附性,因此硼氯系数值只能

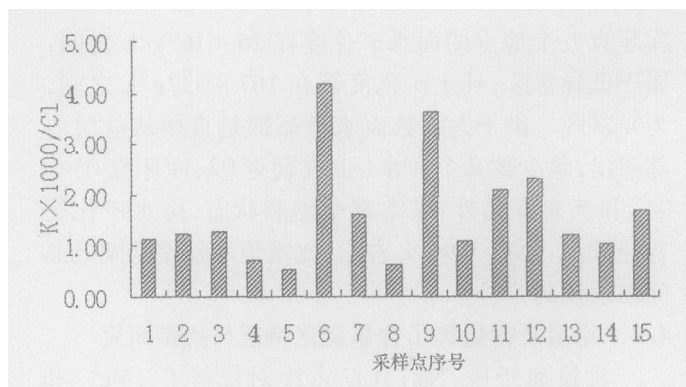


图 3 塔里木盆地西部卤水钾氯系数变化柱状图

Fig 3 The histogram of $\text{K} \times 10^3 / \text{Cl}$ from brine in the western Tarim Basin

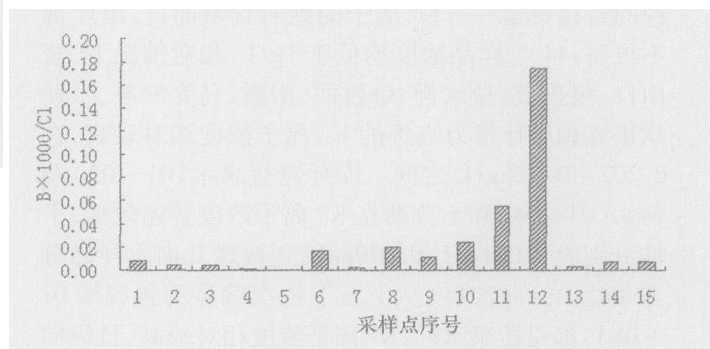


图 4 塔里木盆地西部卤水硼氯系数随各水点的变化柱状图

Fig 4 The histogram of $\text{B} \times 10^3 / \text{Cl}$ from brine in the western Tarim Basin

作为参考系数,它必须和其他的特征系数一起来判断卤水的浓缩程度。

为了探讨各特征系数值的变化趋势是否一致,图 5 列出了硼氯系数、溴氯系数和钾氯系数的趋势变化柱状图(其中为了便于在同一图中的数据显示比较,在不改变变化趋势的情况下,已经做了相应的调整)。从图 5 可以明显得出这三种特征系数值的变化趋势基本一致,说明了水化学的各种特征系数值是可以信赖的,有利于对研究区做出远景预测。

钾溴系数: 钾溴系数(K / Br)是以重量形式计算出来的。在利用水化学找矿中, K 与 Br 的互存关系对寻找钾盐矿床具有指导作用,从已有实践经验来看, K / Br 系数值在 25~50 之间,则可能有找钾远景,大于 60 以上,说明该区贫溴,可能为石盐淋滤水或陆相水,没有找钾可能,反之 K / Br 较小,说明水中贫钾富溴,可能为母卤或沉积卤水,无找钾远景。在所采集的卤水样品中, K / Br 系数值在 20~60 之间的为:大宛其 27.569,康村西 46.557,巴什基奇克 47.026

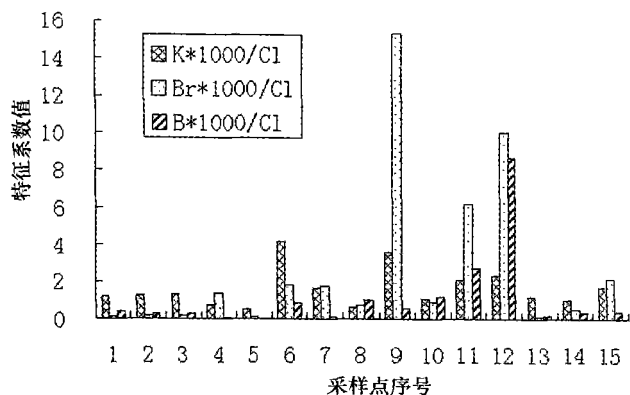


图 5 塔里木盆地西部盐泉卤水地球化学特征系数变化柱状图
(注: 为了便于比较, 其中硼氯系数和溴氯系数都扩大了 50 倍;)

Fig 5 The histogram of characteristics coefficients of geochemistry from brine in the western Tarim Basin

塔什米力克 38.76‰, 而轮台煤矿、阳霞和乌克沙鲁的钾溴系数 (K/Br) 值分别为 11.704、16.881、11.469。其中康村西、巴什基奇克、轮台煤矿和阳霞分布于阳霞凹陷内部; 塔什米力克和乌克沙鲁位于喀什凹陷内部。

镁氯系数: 镁氯系数 (nMg/nCl) 是以当量形式计算的。根据海水浓缩试验知, 在沉积过程中, 镁离子在液相母卤和固相岩盐中其分配系数是大不相同的, 即镁离子富集于海相母卤中, 因此在钾盐水化学找矿中 nMg/nCl 系数可以判别盐类矿床周围的地下水是母卤或沉积水, 还是淋滤水。据资料: 镁氯系数在 0~0.1 之间, 说明具有钾盐淋滤水的特征, 如果钠氯系数在 0.9~0.99 之间、溴氯系数大于 0.3, 钾氯系数又大于 12 的话, 那么则可称该水点钾盐水化学异常, 具有找钾前景。根据这一点, 在所有的卤水样品中, 相对较高的只有轮台煤矿和乌克沙鲁。轮台煤矿的几个特征系数分别是: 溴氯系数为 0.307, 镁氯系数为 0.0177, 钠氯系数为 0.924, 钾氯系数为 3.596, 而乌克沙鲁这几个特征系数分别为: 溴氯系数为 0.202, 镁氯系数为 0.0166, 钠氯系数为 1.04, 钾氯系数为 2.318。这虽然没有达到前面提到的标准, 但是已经显示轮台煤矿和乌克沙鲁和其他地方相比具有相对钾盐异常。

钠氯系数: 钠氯系数 (nNa/nCl) 是以当量形式计算的。该系数值降低可证明有封存卤水加入。钠氯系数和镁氯系数具有因果关系, 根据这两个特征系数值结合水化学类型可以判断该水型是淋滤水还是沉积水。钠氯系数^[46]在 0.85~1.00 之间, 属淋滤水,

水化学类型是氯化物型和硫酸盐型卤水都有。钠氯系数大于 1.00 的水化学类型基本上是硫酸盐型, 属陆相水。钠氯系数小于 0.85 的则为氯化物型卤水, 属海相水, 这与根据 M. F. 瓦利亚什科的卤水分类方法得到的卤水类型基本上是一致的 (见表 3)。海洋水中的 nNa/nCl 和 $Br \times 10^3 / Cl$ 两对系数, 具有最大的稳定性。当 nNa/nCl 约等于 0.87, $Br \times 10^3 / Cl = 0.33$ 时, 为海成沉积卤水; 当 nNa/nCl 值为 0.87~0.99 或更高和 $Br \times 10^3 / Cl$ 值为 0.83~0.08 或更小时, 则为岩盐溶滤卤水; 当 nNa/nCl 值小于 0.87 和 $Br \times 10^3 / Cl$ 值大于 0.33 时, 则为沉积变质卤水。根据这些水化学特征, 就可判别水的成因类型, 而且还可从淋滤卤水的化学成分中推测固相沉积物的主要组分和矿物类型, 进一步判断当时卤水浓缩程度或变质情况。根据这一观点, 所采集到的卤水基本上都是岩盐淋滤水。根据钠氯系数, 乌克沙鲁 (nNa/nCl 系数为 1.04, $Br \times 10^3 / Cl$ 为 0.202) 和阳霞 (nNa/nCl 系数为 1.107, $Br \times 10^3 / Cl$ 为 0.123) 是陆相水, 水化学类型属于硫酸盐型; 轮台煤矿 (nNa/nCl 为 0.924, $Br \times 10^3 / Cl$ 为 0.307) 和塔什米力克 (nNa/nCl 为 0.978, $Br \times 10^3 / Cl$ 为 0.043) 是岩盐淋滤水, 水化学类型属于氯化物型。

总的来说, 从卤水的各种地球化学特征系数值综合分析结果表明: 轮台煤矿、乌克沙鲁、阳霞和塔什米力克是钾盐水化学地球化学参数相对异常的区域, 是钾盐矿床的异常点。其中乌克沙鲁和塔什米力克位于塔西南的莎车盆地, 而且大部分都集中于喀什次级凹陷; 轮台煤矿和阳霞位于北部库车盆地的阳霞次级凹陷内部。

5 结语

前面讨论了卤水的水化学特征, 通过盐泉卤水的矿化度、水化学类型、 K^+ 含量和微量元素 Br 和 B 离子的含量变化特征以及各种地球化学特征系数, 讨论了寻找钾盐的各种指标, 分析了具有钾盐异常的几个水点, 最后得出: 钾盐矿床的远景区分别是喀什凹陷和阳霞凹陷。其次是依据溴和硼的含量以及各种特征系数值与正常卤水浓缩的特征系数值的比较可知, 塔里木盆地是溴和硼等微量元素含量较少的地区, 不能完全依靠这些特征系数来判断塔里木盆地的卤水浓缩程度和钾盐资源状况, 同时也说明了塔里木盆地是一个成盐环境相对比较复杂的地区^[47, 48], 在今后找钾工作中必须寻求其他的指标或特征系数值来判

断成盐沉积环境的模式和成盐阶段。

6 几点建议

由于塔里木盆地的地质变迁史比较复杂, 所以野外工作发现的岩盐或卤水分布比较零散, 没有找到大规模成层的岩盐出露, 这是工作中存在的最大问题, 而且采集到的岩盐基本上都是在岩盐透镜体上发现的, 有的地方采集到的样品数量较少, 很难说明该区域总体的状况, 代表性不是很强。基于野外及实验室的分析结果, 建议:

(1) 对采集样品较少的地区重新开展大面积的调查取样, 在有成层岩盐露头的地方实施浅钻取样, 力争详细、准确的分析某一地区的地质情况。

(2) 世界上大型的钾盐矿床都是在找油过程中发现的^[49]。因此, 与地质队和石油钻探队合作, 实施油盐兼探也是寻找钾盐的重要过程。

(3) 对这次预测到的钾盐远景区, 应该再次开展工作, 争取在这些远景区开展航空能谱^[50]、钻探工作, 取岩心样进行系统、规律的分析, 运用碳、氧同位素^[51~53]分析对区域做出客观的环境变迁规律研究, 从而对这些远景区进行更为周密、细致的工作。

(4) 在野外工作中发现, 塔里木盆地有大面积的石膏及泥砾岩出露, 通过石膏^[54]中硫同位素及泥砾岩^[55]的结构和构造特征研究, 来判断当时的构造沉积环境、物质组成等特征, 从而进行钾盐的预测。

以上几个方面的找钾标志是相互联系的, 应用时应以剖面结构为基础, 结合水化学特征参数、泥砾岩、岩石矿物、微量元素等方面综合分析才能得出客观、正确的结论。

参考文献 (References)

- 涂怀奎. 论中国西部钾矿资源分布特征与开发前景. 甘肃地质学报, 2002, 11(1): 69~75 [Tu Hua kui. The distribution characteristic of potassium mineral resource and development prospect in west China. Acta Geologica Gansu, 2002, 11(1): 69~75]
- 张彭熹, 张宝珍, 洛温斯坦 T K, 斯潘塞 R J 古代异常钾盐蒸发岩的成因——以柴达木盆地察尔汗盐湖钾盐的形成为例. 北京: 科学出版社, 1993. 1~126 [Zhang Pengxi, Zhang Baozhen, Lowenstein T K, et al. Formation Gansu of Ancient Abnormal Potash Evaporites An example about Formation of Salt Lake Potash in Qaidam Lake of Qaidam Basin. Beijing: Science Press, 1993. 1~126]
- 赵振宏, 侯光才, 蔡青勤, 等. 罗布泊钾卤水矿床成矿地质背景. 新疆地质, 2002, 20(3): 210~213 [Zhao Zhenhong, Hou Guangcai, Cai Qingqin, et al. Quaternary geological setting of mineralization of K alkali bitter deposits in Lopnor region. Xinjiang Geology, 2002, 20(3): 210~213]
- 林耀庭, 何金权. 四川盆地中三叠统异常水点水化学特征及探盐找钾预测研究. 盐湖研究, 2004, 12(4): 1~8 [Lin Yaoting, He Jinquan. Study on the hydrochemical characteristics of exceptional water sites and estimation of potassium in the Lower-Middle Trias series of Sichuan Basin. Journal of Salt Lake Research, 2004, 12(4): 1~8]
- 刘成林, 焦鹏程, 王弼力, 等. 新疆罗布泊第四纪盐湖上升卤水流体及其成钾意义. 矿床地质, 2003, 22(4): 386~392 [Liu Chenglin, Jiao Pengcheng, Wang Mili, et al. Ascending brine fluids in Quaternary salty lake of Lopnur in Xinjiang and their significance in potash formation. Mineral Deposits, 2003, 22(4): 386~392]
- 袁见齐. 西北盐矿概论. 袁见齐教授盐矿地质论文选集. 北京: 学苑出版社, 1989. 14~32 [Yuan Jianqi. Selected papers on geology of salt deposits of professor Yuan Jianqi. Salt Ore Generality of Northwestern China. Beijing: Pleastra Press, 1989. 14~32]
- 张朝军, 田在艺. 塔里木盆地库车凹陷第三系盐构造与油气. 石油学报, 1998, 19(1): 6~10 [Zhan Chaojun, Tian Zaiyi. Tertiary salt structures and hydrocarbons in Kuche depression of Tarim Basin. Acta Petrologica Sinica, 1998, 19(1): 6~10]
- 史基安. 塔里木盆地西部层序地层与沉积成岩演化. 北京: 科学出版社, 2001. 1~253 [Shi Jikan. Sequence Stratigraphy, Sedimentary and Diagenetic Evolution in the Western Tarim Basin. Beijing: Science Press, 2001. 1~253]
- Burchfiel B C, Brown E T, Deng Q, et al. Crustal shortening on the margins of the Tian Shan, Xinjiang, China. International Geology Review, 1999, 41: 665~700
- 郭宪璞, 丁孝忠, 何希贤, 等. 塔里木盆地中生代海侵和海相地层研究的新进展. 地质学报, 2002, 76(3): 299~307 [Guo Xianpu, Ding Xiaozhong, He Xixian, et al. New progress in the study of marine transgression events and marine strata of the Mesozoic in the Tarim Basin. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(3): 299~307]
- Hao Yichun, Zeng Xueli, Guo Xianpu. The marine Cretaceous in the Western Part of the Tarim Basin of Xinjiang and its depositional environments. Acta Geologica Sinica, 1988, 1(1): 13~27
- 马华东, 杨子江. 塔里木盆地西南新生代盆地演化特征. 新疆地质, 2003, 21(1): 92~95 [Ma Huadong, Yang Zijiang. Evolution of the Cenozoic in southwestern Tarim Basin. Xinjiang Geology, 2003, 21(1): 92~95]
- Sobel E R, Dumitru T A. Thrusting and exhumation around the margins of the western Tarim Basin during the India-Asia collision. Journal of Geophysical Research, 1997, 102: 5043~5063
- Hendrix M S, Dumitru T A, Graham S A. Late Oligocene-early Miocene unroofing in the Chinese Tian Shan: An early effect of the India-Asia collision. Geology, 1994, 22: 487~490
- 邱芳强, 丁勇, 王辉. 库车盆地的沉积物源分析. 新疆地质, 2000, 18(3): 252~257 [Qiu Fangqiang, Ding Yong, Wang Hui. Source analysis on deposits of Kuche Basin. Xinjiang Geology, 2000, 18(3): 252~257]
- 王清晨, 张仲培, 林伟. 库车盆地一天山边界的晚第三纪断层活动性质与应力状态. 科学通报, 2003, 48(24): 2553~2559 [Wang Qingchen, Zhang Zhongpei, Lin Wei. Faultage characters and stress

- state from boundary between Kuche sag and Tianshan Mount. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(24): 2553~2559]
- 17 贾承造, 顾家裕, 张光亚. 库车拗陷大中型气田形成的地质条件. 科学通报, 2002, 47(增): 49~55 [Jia Chengzao, Gu Jiayu, Zhang Guangya. Geologic conditions for large or middle gas field of Kuche depression. Chinese Science Bulletin, 2002, 47 (Supplement): 49~55]
 - 18 皮学军, 谢会文, 张存, 等. 库车前陆逆冲带异常高压成因机制及其对油气藏形成的作用. 科学通报, 2002, 47(增): 84~90 [Pi Xuejun, Xie Huiwen, Zhang Cun, *et al.* Cause of Kuche foreland thrust belt high-pressure and effect on hydrocarbon accumulation. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(Supplement): 84~90]
 - 19 林畅松, 刘景彦, 张燕梅, 等. 库车拗陷第三系构造层序的构成特征及其对前陆构造作用的响应. 中国科学(D), 2002, 32(3): 177~183 [Lin Changsong, Liu Jingyan, Zhang Yanmei, *et al.* The Tertiary structural sequence stratum characters and impact on foreland structure in Kuche depression. Science in China(D), 2002, 32(3): 177~183]
 - 20 Li Desheng, Liang Digang, Jia Chengzao, *et al.* Hydrocarbon accumulation in the Tarim Basin. China AAPG Bulletin, 1996, 80(10): 1587~1603
 - 21 Catuneanu O., Hancox P. J., Rubidge B. S. Reciprocal flexural behaviour and contrasting stratigraphies: a new basin development model for the Karoo retroarc foreland system, South Africa. Basin Research, 1998, 10: 417~439
 - 22 郝治纯, 关绍曾, 叶留生, 等. 塔里木盆地西部地区新近纪地层及古地理特征. 地质学报, 2002, 76(3): 289~297 [Hao Yihun, Guan Shaozeng, Ye Lisheng, *et al.* Neogene stratigraphy and palaeogeography in the western Tarim Basin. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(3): 289~297]
 - 23 陈荣林, 范明, 马红强. 塔里木盆地北部第三系盐类沉积和油气勘探. 新疆地质, 2001, 19(2): 107~110 [Chen Ronglin, Fan Ming, Ma Hongqiang. Oil-gas exploration and Tertiary salt deposition in northern Tarim Basin. Xinjiang Geology, 2001, 19(2): 107~110]
 - 24 陈楚铭, 卢华复, 贾东, 谢晓安. 塔里木盆地晚第三纪——第四纪沉积特征、构造变形与石油地质意义. 沉积学报, 1998, 16(2): 113~116 [Chen Chunming, Lu Huaifu, Jia Dong, Xie Xiaohan. Neogene-Quaternary sedimentary features, structural deformation of the Tarim Basin and its petroleum geological significances. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(2): 113~116]
 - 25 汤良杰, 贾承造, 皮学军, 等. 库车前陆褶皱带盐相关构造模式. 中国科学(D), 2003, 33(1): 38~46 [Tang Langjie, Jia Chengzao, Pi Xuejun, *et al.* Salt-related structural styles of Kuche foreland fold-thrust belt, northern Tarim Basin. Science in China(D), 2003, 33(1): 38~46]
 - 26 张运东, 宋建国, 朱如凯. 塔里木盆地西南坳陷上第三系沉积相及岩相古地理特征. 新疆石油地质, 1999, 20(2): 123~126 [Zhang Yundong, Song Jianguo, Zhu Rukai. Characteristics of sedimentary facies and lithofacies paleogeography of upper tertiary in southwest depression Tarim Basin. Xinjiang Petroleum Geology, 1999, 20(2): 123~126]
 - 27 Yin A., Nie S., Harrison T. M., *et al.* Late Cenozoic tectonic evolution of the southern Chinese Tianshan. Tectonics, 1998, 17(1): 1~27
 - 28 中国科学院青海盐湖研究所分析室编著. 卤水和盐的分析方法. 北京: 科学出版社, 1988. 29~237 [Analysis lab of Qinghai Institute of Salt Lakes. Chinese Academy of Sciences. Analysis Methods of Brines and Salt. Beijing: Science Press, 1988. 29~237]
 - 29 曲一华, 袁品泉, 帅开业, 等. 兰坪—思茅盆地钾盐成矿规律及预测. 北京: 地质出版社, 1998. 86~105 [Qu Yihua, Yuan Pinquan, Shuai Kaiye, *et al.* Potash Forming Rules and Prospect in Lanping-Simao Basin. Beijing: Geological Publishing House, 1998. 86~105]
 - 30 林耀庭, 颜仰基. 四川盆地西部富钾卤水水文地球化学特征及其成因意义探讨. 盐湖研究, 1996, 4(1): 1~12 [Lin Yaoting, Yan Yangji. Hydrogeochemical features of K-rich brine and its genetic significance in west Sichuan Basin. Journal of Salt Lake Science, 1996, 4(1): 1~12]
 - 31 林耀庭, 颜仰基, 吴应林. 四川盆地某地富矿卤水水文地球化学特征及其成因资源意义. 岩相古地理, 1996, 16(4): 12~22 [Lin Yaoting, Yan Yangji, Wu Yinglin. High-grade brine in the Sichuan Basin. Hydrogeochemistry origin and its resource significance. Lithofacies Paleogeography, 1996, 16(4): 12~22]
 - 32 林耀庭, 曹善行. 四川某地富钾卤水的发现及其成因和意义. 化肥工业, 1997, 24(2): 8~12 [Lin Yaoting, Cao Shanxing. Discovery of potassium-rice brine in Sichuan: its origin and significance. Fertilizer Industry, 1997, 24(2): 8~12]
 - 33 于升松, 等. 察尔汗盐湖首采区钾卤水动态及其预测. 北京: 科学出版社, 2000. 33~39 [Yu Shengsong, *et al.* Dynamic and Forecast of Potassium Brine from Qarhan. Beijing: Science Press, 2000. 33~39]
 - 34 谭红兵, 马海州, 马万栋, 等. 塔里木盆地西部古岩盐地质地球化学特征与成钾条件分析. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(3): 194~199 [Tan Hongbing, Ma Haizhou, Ma Wandong, *et al.* Research on geological and geochemical characteristics of paleo-salt rock and its potash ore formation in western Tarim Basin. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2004, 23(3): 194~199]
 - 35 赵振宏, 侯光才, 蔡青勤, 等. 罗布泊钾卤水矿床成矿地质背景. 新疆地质, 2002, 20(3): 210~213 [Zhao Chenhong, Hou Guangcai, Cai Qingqin, *et al.* Quaternary geological setting of mineralization of Kalium bitter deposits in Lopnor region. Xinjiang Geology, 2002, 20(3): 210~213]
 - 36 谭红兵, 马万栋, 马海州, 等. 塔里木盆地西部古盐矿点卤水水化学特征与找钾研究. 地球化学, 2004, 33(2): 152~158 [Tan Hongbing, Ma Wandong, Ma Haizhou, *et al.* Hydrochemical characteristics of brines and application to locating potassium in western Tarim Basin. Geochemistry, 2004, 33(2): 152~158]
 - 37 Ma Wandong, Ma Haizhou, Tan Hongbing, *et al.* Geochemistry of brines from salt ore deposits in western Tarim Basin. Chinese Journal of Geochemistry, 2004, 23(3): 228~243
 - 38 Bowers T. S., von Damm K. L., and Edmond J. M. Chemical evolution of mid-ocean ridge hot spring. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1985, 49: 2239~2252
 - 39 Harder H. Boron content of sediments as a tool in facies analysis. Sed-

- imentary Geology, 1970, 4: 153~175
- 40 肖荣阁, 大井隆夫, 蔡克勤, 等. 硼及硼同位素地球化学在地质研究中的应用. 地学前缘, 1999, 6(2): 361~368 [Xiao Rongge, Takao Oji, Cai Keqin, et al. Application of boron and boron isotopic geochemistry in the study of geological process. Earth Science Frontiers, 1999, 6(2): 361~368]
 - 41 Chausson M, Jambon A. Boron content and isotopic composition of oceanic basalts: geochemical and cosmochemical implication. Earth Planet Science Letters, 1994, 121: 277~291
 - 42 蒋少涌. 硼同位素及其地质应用研究. 高校地质学报, 2000, 6(3): 1~15 [Jiang Shaoyong. Boron isotope and its geological applications. Geological Journal of China University, 2000, 6(3): 1~15]
 - 43 牟保垒. 元素地球化学. 北京: 北京大学出版社, 1999. 1~227 [Mu Baolei. Element Geochemistry. Beijing: Peking University Press, 1999. 1~227]
 - 44 马万栋, 马海州, 谭红兵, 等. 塔里木盆地西部含盐系地层成盐元素的地球化学初步研究. 盐湖研究, 2003, 11(2): 35~40 [Ma Wandong, Ma Haizhou, Tan Hongbing, et al. Geochemistry study on elements of halite stratum in western Tarim Basin. Journal of Salt Lake Research, 2003, 11(2): 35~40]
 - 45 Montgomery S L, Moore D C. Subsalt play, gulf of Mexico: a review. AAPG Bulletin, 1997, 81(6): 871~896
 - 46 林耀庭, 何金权, 王田丁. 四川盆地中三叠统成都盐盆富钾卤水地球化学特征及其勘查开发前景研究. 化工矿产地质, 2002, 24(2): 71~83 [Lin Yaoting, He Jinquan, Wang Tianding. Geochemical characteristics of potassium-rich brine in middle Triassic Chengdu salt basin of Sichuan Basin and its prospects for brine tapping. Geology of Chemical Minerals, 2002, 24(2): 71~83]
 - 47 Leising J F, Tyler S W, and Miller W W. Convection of saline brines in enclosed lacustrine basins: A mechanism for potassium metamorphism. GSA Bulletin, 1995, 107: 157~1163
 - 48 Koppmann W,égrel Ph N, Casanova J, et al. Halite dissolution derived brines in the vicinity of a Permian salt dome (N German Basin). Evidence from boron, strontium, oxygen, and hydrogen isotopes. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2001, 65: 4087~4101
 - 49 林耀庭, 曹善行. 论盐钾与油气的关系. 化工矿产地质, 2000, 22(2): 70~85 [Lin Yaoting, Cao Shanxing. A discussion on the relationship between salt-potash and oil-gas. Geology Chemical Minerals, 2000, 22(2): 70~85]
 - 50 康贤, 苟润祥, 李耕. 地面伽玛能谱测量寻找盐湖型钾盐矿的应用研究. 铀矿地质, 2005, 21(1): 45~51 [Kang Xian, Gou Runxiang, Li Geng. Application of ground gamma-ray spectrometric survey to prospecting for salt lake-type potash deposits. Uranium Geology, 2005, 21(1): 45~51]
 - 51 郑永飞, 徐宝龙, 周根陶. 矿物稳定同位素地球化学研究. 地学前缘, 2000, 7(2): 299~320 [Zheng Yongfei, Xu Baolong, Zhou Gentao. Geochemical studies of stable isotopes in minerals. Earth Science Frontiers, 2000, 7(2): 299~320]
 - 52 李延河. 同位素示踪技术在地质研究中的某些应用. 地学前缘, 1998, 5(1, 2): 275~281 [Li Yanhe. Some applications of isotope-tracing in geology. Earth Science Frontiers, 1998, 5(1, 2): 275~281]
 - 53 唐国军, 陈衍景. 有机碳同位素示踪古环境变化研究. 矿物岩石, 2004, 24(3): 110~115 [Tang Guojun, Chen Yanjing. Comment on tracing environmental change with organic carbon isotopes. Mineral Petrology, 2004, 24(3): 110~115]
 - 54 林耀庭, 曹善行, 熊淑君, 等. 四川盆地海相三叠系硬石膏和盐卤水的硫同位素组成及意义. 化工矿产地质, 1997, 19(3): 171~176 [Lin Yaoting, Cao Shanxing, Xiong Shujun, et al. Anhydrite and salt brine of triassic sequence in Sichuan Basin: composition and implication of sulfur isotope. Geology of Chemical Minerals, 1997, 19(3): 171~176]
 - 55 曲懿华. 试论盐系中泥砾岩的成因. 化工矿产地质, 1997, 19(3): 162~166 [Qu Yihua. On origination of clay conglomerate associated with salt sequences. Geology of Chemical Minerals, 1997, 19(3): 162~166]

Geochemical Characteristics on Brine and Potash Perspective in the Western Tarim Basin

MA Wandong¹ MA Haizhou²

(1 College of Environment & Planning Henan University, Kaifeng Henan 475004)

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

Abstract In the geological evolution of Tarim Basin, many transgressions and regressions of the ancient Tethys happened especially in the Cretaceous and Tertiary period, and brought plenty of salt sources. What's more, because of uttermost drought and proper sedimentary facies and paleogeography, many salt, gypsum, carbonate and mud-salt were deposited. By our fieldwork, above 300 samples were collected including brine and solid. Among these samples, 43 brine samples and 99 solid halite samples were analyzed. The item of analysis included K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Br^- , B^{3+} and so on. This paper discussed the variety of the content of K^+ and the characteristics coefficients of geochemistry, the model of salt formation, the concentration stage of brine and the possibility of potash formation by geochemical analysis of the brine from Tarim Basin. In the end, the potash perspective was proposed. From the geochemical parameters of brine in Western Tarim Basin, we could conclude that the perspective of potash is Kashi Sag and Yangxia Sag. By comparing the content of microelement and the geochemical parameters of brine with that of normal condensed brine, it is known that there is little microelements such as Br and B in Tarim Basin, so we could not completely depend on these indexes to judge the condense stage of brine and halite as well as potash resources, and this viewpoint indicates that Tarim Basin is the intricate area of salt formation.

Key words western Tarim Basin, potash, characteristics coefficients of geochemistry, Potash perspective