

论钾盐矿床的物质来源和找矿指示

郑大中, 郑若锋

(成都综合岩矿测试中心, 四川 成都 610081)

摘要: 讨论了钾及其有关物质的理化性质和行为规律, 钾盐的物质来源, 盐卤的变质, 结晶分异, 成矿条件和机制, 认为富钾热液是形成钾盐矿床的重要的物质来源之一。矿物岩石流体包裹体的富钾成分、富钾热泉、富钾盐湖均是找寻钾盐矿床的重要指示。

关键词: 钾盐矿床; 物质来源; 找矿指示; 富钾热液

中图分类号: P618

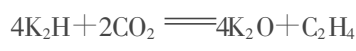
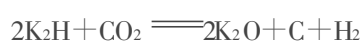
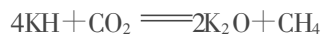
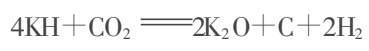
文献标识码: A

文章编号: 1008—858X(2006)04—0009—09

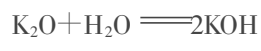
钾盐用于农肥、化工、医药、纺织、印染、制革、玻璃、陶瓷、炸药等广泛领域, 其耗量巨大, 需求强劲, 逐年递增。我国探明的钾盐资源量较少, 主要为盐湖卤水钾盐矿床, 而高品位的可溶性固体钾盐矿床很少, 靠长期大量进口维持国内之需。笔者讨论了钾盐矿床的物质来源及其找矿指示, 将有助于实现钾盐的找矿勘查。

1 钾及有关物质的理化性质和行为

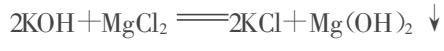
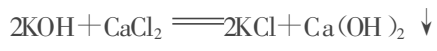
单质钾熔点63.7℃, 沸点758℃。它与水作用形成KOH, 熔点360.4℃, 沸点1324℃, 600℃时呈双分子(KOH)₂刺激性蒸气挥发。在强还原富氢环境, 加热单质钾至300℃即生成K₂H、KH, KH为白色细长针状晶体, 不导电, 体积质量为0.80 g/cm³。因此, 将钾列为挥发性元素, 且是幔汁的重要组分^[1]。钾的氢化物是强还原剂, 能将CO₂还原生成碳、碳氢化物:



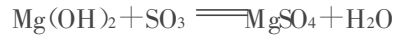
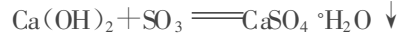
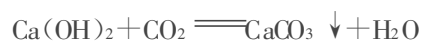
氧化钾与水作用生成氢氧化钾。



氢氧化钾与钙、镁氯化物作用形成氯化钾和钙、镁氢氧化物, 溶液碱性大降。



钙、镁的氢氧化物能吸收CO₂、SO₃生成钙、镁的碳酸盐、硫酸盐, 使溶液近中性。



上述演化过程生成3种钾盐, 且对地壳碱度过高有抑制作用。

2 钾盐的物质来源

钾盐的物质来源具有复杂性、多源性。主要有海退残留的古海水; 风化壳上含钾矿物、含钾岩石风化、淋滤溶解的流体; 岩浆活动的富钾热液, 热泉等, 现着重对后者进行研讨。

2.1 矿脉矿物流体包裹体化学成分

有代表性的矿脉、矿物流体包裹体化学成分列于表1。

表 1 矿脉、矿物流体包裹体化学成分
Table 1 Chemical compositions of fluid inclusions of lodas and minerals

编号	矿脉或 矿物	液相成分的质量分数(wt/%) × 10 ⁻⁴										气相成分的质量分数(wt/%) × 10 ⁻⁴							资料 来源
		K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂	H ₂ O		
1	石英	24.19	8.24		0.00	0.51	1.81	0.69		10.29	22.99	0.05	11.96	0.00	25.5	15.0	2245	[2]	
2	石英	27.51	3.89		0.00	0.30	1.40	0.00		36.85	15.26	0.13	15.21	9.38	25.5	16.3	2100	[2]	
3	石英	72.45	17.23		0.00	0.78	2.14	0.61		41.05	76.24	0.10	20.00	0.00	13.8	16.3	843	[2]	
4	石英	4.95	3.15		0.00	0.00	1.40	0.21		0.00	11.47	0.01	4.46	9.38	127.7	12.8	2810	[2]	
5	石英	66.88	6.60			0.01	5.50				43.50	0.82	3.33	9.79	65.7	3.12	8385	[3]	
6	石英	38.30	4.30		0.19	0.06	8.00				30.00	0.62	6.31	9.50	330.2	3.25	1989	[3]	
7	石英	10.90	2.21				2.60				5.35	0.50	5.82	21.33	19.9	4.58	2360	[3]	
8	石英	6.32	0.46			0.06	2.60				2.70	0.82	9.18	51.67	29.1	2.50	913	[3]	
9	石英	5.20	0.36		0.28	0.05	0.80				3.40	0.72	7.15	26.25	67.3	2.92	538	[3]	
10	石英	64.49	8.00			0.11	34.07	0.91	29.42		13.18	0.30	0.60	4.04	49.5	1.06	516	[3]	
11	石英	13.08	3.31			0.08	4.31	0.41	1.51		3.46	0.28	1.97	0.98	31.55	0.86	232	[3]	
12	石英	11.84	3.52			0.02	5.32	0.28	1.57		9.00	0.32	1.75	0.49	3.17	0.66	385	[3]	
13	石英	11.31	4.66			0.24	3.52	0.39	3.16		29.48	0.05	0.04	0.60	4.68	0.35	208	[3]	
14	石英	10.88	2.81			0.06	4.29	1.43	1.23		2.81	0.12	0.35	1.76	5.69	1.74	419	[3]	
15	石英	5.48	0.89			0.79	4.90	1.05		43.50	0.00	1.10		2.50	51.79		900	[4]	
16	石英	3.24	0.96			0.25	4.20	2.40		71.50	0.00	7.50		1.50	267.76		850	[4]	
17	石英	5.07	1.68			0.04	2.10				4.40	0.95	6.14	26.21	61.40	3.67	4048	[5]	
18	石英	6.70	1.63		0.37	0.14	1.70				5.05	2.76	13.99	69.33	111.9	3.67	1687	[5]	
19	石英	21.67	4.71		0.28	0.04	6.40				6.15	0.63	4.59	16.46	66.40	5.75	3458	[5]	
20	石英	12.53	3.33				2.50				4.50	0.98	7.59	30.00	44.60	5.17	2125	[5]	
21	石英	4.69	2.40				2.80				3.55	0.65	4.55	14.46	36.10	2.29	1455	[5]	
22	石英脉	17.36	9.26		23.15	2.31	11.34	0.23			43.75	0.00	0.25	0.62	1.49	0.18	72	[6]	
23	石英脉	6.10	3.62		2.27	0.71	3.51	0.42			5.84	0.00	0.78	1.80	5.10	0.95	470	[6]	
24	石英脉	4.58	3.28		2.60	0.42	3.13	0.12			7.05	0.07	0.22	0.82	15.11	3.45	422	[6]	
25	石英脉	7.50	3.05		0.03	0.01	2.46	0.47			3.25	0.05	0.22	3.27	10.08	6.90	511	[6]	
26	石英	8.79	4.83		0.34	0.03	16.66	0.06			0.41	0.02		0.60	27.62	0.48	857	[6]	

续表:

编号	矿脉或 矿物	液相成分的质量分数(w/%) $\times 10^{-4}$										气相成分的质量分数(w/%) $\times 10^{-4}$								资料来源
		K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂	H ₂ O			
27	石英	1.46	0.23		<0.01	0.00	0.12	0.21			1.85	0.15		2.29	10.45	0.51	413	[6]		
28	石英	7.88	2.51		<0.01	0.04	0.21	1.84			11.32	0.00		2.23	14.10	0.46	319	[6]		
29	石英	6.83	4.06		4.67	0.16	1.97	0.11			16.50	0.03		2.65	50.38	5.45	815	[6]		
30	石英	11.25	4.95		2.95	0.01	1.48	0.17			12.15	0.02		2.86	20.15	7.81	733	[6]		
31	石英	43.47	6.15		0.00	0.39	2.82	1.56			13.13	0.55	4.22	2.31	145.3	6.97	2658	[7]		
32	石英	10.20	3.30		0.30	90.00	7.12	2.17			5.63	0.45	1.89	2.71	153.5	5.47	1353	[7]		
33	石英	9.90	5.75		0.00	0.00	7.13	2.10			5.63	0.41	5.87	3.71	103.7	19.62	4876	[7]		
34	黄铁矿	7.90	6.40		5.30	4.80	12.90	2.50	10.80				38.40	21.00	33.20	9.60		[8]		
35	黄铁矿	10.20	8.50		6.70	5.90	11.50	3.20	13.50				20.40	15.70	16.10	9.60		[8]		
36	黄铁矿	7.80	2.90		7.50	10.20	3.30	12.40	35.80				10.00	44.30		25.40		[8]		
37	黄铁矿	7.70	5.80		5.80	12.40	3.00	12.30	29.00				8.00	22.60		14.80		[8]		
38	闪锌矿	5.30	3.20		10.10	15.80	2.90	11.50	41.30				10.10	40.50		20.00		[8]		
39	黄铁矿	5.48	2.30		24.90	1.95	2.03	3.56			189.7	0.01	0.11	0.36	75.56	2.00	153	[9]		
40	黄铁矿	6.55	3.50		13.17	1.81	0.96	0.94			125.5	0.01	0.07	0.51	109.6	1.34	517	[9]		
41	石英	30.68	6.77		100.8	1.28	2.71				42.68	0.05	0.14	0.51	32.74	3.01	764	[9]		
42	石英	5.95	2.04		14.40	3.50	5.70				46.30	0.13	0.28	4.08	55.41	12.07	726	[9]		
43	石英	14.40	9.17		1.20	0.05	12.98	4.32			22.33	0.47	痕		70.23		960	[10]		
44	石英	26.58	9.13		0.95	0.19	13.88	4.13			17.88	0.70	1.84		62.32	痕	153	[10]		
45	石英	12.53	4.23		0.18	0.12	0.21	0.20			5.55	0.77		23.05	111.9		146	[11]		
46	石英	23.50	2.77	16.62			1.97				33.59		2.18			2.52		[12]		
47	石英	24.43	4.20	46.38			10.08				12.37		2.47			0.99		[12]		
48	锡石	18.08	0.30		31.01	23.12	0.42	4.23			106.5	2.51	0.49	165.9	564.2	3.95	422	[13]		
49	锡石	17.99	0.30		12.95	29.28	0.49	5.96			88.84	1.76	0.28	39.58	75.23	3.57	109	[13]		
50	锡石	10.42	0.38		9.01	21.59	5.52	7.61			80.57	2.77	0.70	188.5	1257.4	1.50	145	[13]		

注: 15、16、43、44 气相成分单位为 ml/100g。

从表 1 看出：(1)新疆地区(编号 1~30)较多矿床中的矿物流体包裹体液相成分中含钾较高,有的含 K^+ 达 72.45×10^{-6} , $\rho(K^+)/\rho(Na^+)$ 质量浓度比值高达 10.13, 有丰富的成矿物质来源, 又有较佳的迁移、富集、储藏成矿条件；(2)云南南部一些矿床的矿物流体包裹体(编号 48~50)液相成分中 K^+ 的平均值为 15.50×10^{-6} , $\rho(K^+)/\rho(Na^+)$ 质量浓度比值为 47.44, 滇南—老挝北部地区陆相钾盐矿床显然与此有关；(3)江西地区一些矿床的矿物流体包裹体(编号 30~45)液相成分中 K^+ 的平均浓度值为 13.64×10^{-6} , $\rho(K^+)/\rho(Na^+)$ 质量浓度比值为 2.59, 该类热液经富集、结晶分导, 亦可形成钾盐矿床；(4)新疆一些矿物流体包裹体化学成分中含 K^+ 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 H_2 、 N_2 等, 它们是形成该区硝酸钾矿床的物质基础。因为在地球内部一定温度、压力和自然触媒条件下, H_2 、 N_2 可合成 NH_3 , 在干旱、碱性、氧化环境, NH_3 被氧化成 NO_3^- , 并与 K^+ 结合成 KNO_3 积累^[14]；(5)含有钾等盐类组分的热液, 一般含有天然气成分。它们可一道迁移、富集成矿成藏, 盐类矿床与天然气气藏常有联系, 因此找钾与找气可一并进行, 一举两得。

2.2 热泉化学成分

腾冲、西藏位于印度板块与欧亚板块接触带上, 是研究地球演化和成矿的最佳天然实验室, 因此, 将其具代表性的热泉的化学成分列于表 2。

从表 2 看出：(1)热泉中钾、钠浓度低于海水, 但 $\rho(K^+)/\rho(Na^+)$ 比值比海水高数倍, 经蒸发、结晶分异、富集, 即可能形成钾矿床；(2)热泉中硅、硼、砷的浓度值比海水中这些组分的浓度值高几个数量级, 它们均是呈氢化物迁移的^[13-19]。西藏羊八井热泉气体成分有 H_2 、 H_2S 、 B_2H_6 等^[20], 腾冲火山区温泉气体普遍含有 H_2 、 H_2S 、 CH_4 等^[21], 热泉偏碱性, 系钾等碱金属氢化物(MH)缓慢水解的结果： $MH + H_2O = MOH + H_2 \downarrow$ ；(3)热泉温度深部高于泉口, 如羊八井 ZK400Z 孔, 在 1 850 m 的井下, 1993 年 11 月测得为 262℃, 1994 年 5 月 8 日测得最高温度为 329.8℃, 压强 1.57 MPa, 汽水量 298 t/h^[19], 其温度、压强与一般热液相当。

2.3 主要富钾盐湖卤水的化学成分

我国主要富钾盐湖卤水的化学成分列于表 3, 西藏硼锂卤水矿床的卤水化学成分列于表 4。

从表 3、4 看出, 卤水中 $\rho(K^+)/\rho(Na^+)$ 值与海水中 $\rho(K^+)/\rho(Na^+)$ 值(0.03571)相距甚远, 显然这些卤水不是古海水封存、浓缩的产物。西藏富钾盐湖卤水和硼、锂卤水的 $\rho(K^+)/\rho(Na^+)$ 值与该区热泉的 $\rho(K^+)/\rho(Na^+)$ 值相近, 它们主要是热泉汇聚、浓缩的结果。卤水含 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 表明属中、偏碱性。

2.4 盐矿物盐岩的含气性

1953 年德国发生钾盐矿山大喷发, 喷出约十万吨盐和几十万立方米的气体, 造成三人死亡。认为从深部通过裂隙上升的火山气液, 溶解了附近的盐岩, 以后盐岩重结晶, 气体就被封存在盐里^[23]。天然钾矿物常含有 CH_4 、 N_2 、 H_2 、 H_2S 等气体, 乳白色钾盐 210 mL/kg, 杂色钾石盐 90~170 mL/kg, 红色钾石盐 27~47 mL/kg。盐岩中喷出的气体, 其成分因盐岩类型不同而异, 在德国钾盐矿山, 自光卤石中曾喷出含 CH_4 3.2%, N_2 14%, H_2 82.8% 的气体; 亦有由 CH_4 10%~85% 和 N_2 12%~88% 的气体; 亦发生过含大量 H_2S 气体的喷出事件。有的钾盐矿床中, 现在还喷出气体, 它聚集在与横切钾盐矿层的玄武岩脉有关的裂隙系中。在索利卡姆斯克, 当自地表钻至 150 m 以下时气体喷出, 将冲洗液柱和钻杆冲起高达 10 m 以上, 且气体因煤油灯火焰着火而燃烧。在坑道中打炮眼和钻孔时, 亦曾发生过钻具被气体压力冲出的事件。气体的喷出常发生在爆破的时候, 这时在坑道中岩石发生大量的穹状崩塌。气体往往与盐矿层中聚集的卤水一起喷出, 显示卤水中溶解有较多的气体。在图龙 11 号钾盐矿井中, 气体燃烧达 1 年之久^[24]。气体的喷出事件, 在前苏联、德国、波兰、罗马尼亚等国家的盐矿山都发生过, 显示盐矿与气藏有成因联系。

意大利的托斯卡纳火山蒸气和该区的热泉水中含有硼酸, 这一含硼蒸气矿床已得到利用, 各采硼钻孔中的蒸气压强为 303.99~607.98 kPa, 温度为 130~240℃, 其化学成分见表 5。

表 2 腾冲、西藏热泉化学成分的质量浓度 (mg/L)

Table 2 Chemical compositions of the hot springs of Tengchong and Tibet

编号	温泉名称	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	Rb ⁺	Cs ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	SiO ₂	HBO ₂	As	NH ₄ ⁺	水温/℃	$\rho(k^+)/\rho(M^+)$
1	腾冲热海 3	120	840	0.1	0.02	8.31			1160		31	6.98	20	450	52			88	0.1429
2	腾冲热海 5	23	58	9.43	3.21	0.60					303	16	1.2	195	3			91	0.3966
3	腾冲热海 6	110	680	0.29	0.02	6.20			700	261	11	559	14	340	42			95	0.1618
4	腾冲热海 7	25	130	2.86	0.18	6.20			250		18	57	2.2	105	8			42	0.1923
5	腾冲热海 8	30	180	3.4	0.21	2.10			353		56	93	3.5	108	11			48.5	0.1667
6	腾冲热海 13	61	340	10.7	1.79	3.40			512	37	24	269	7	170	18			95.8	0.1794
7	莫落江沸泉	120	1060	9.8	1.50	50	1.85	30.6	750	303	83	1560	16	120	1917	125.6		85.5	0.1132
8	曲灿烂巴沸泉	41.2	384			<1	0.29	1.53	418	82	80	151	6.4	107	160	0.32	2.03	95	0.1073
9	改则高温泉	81.1	918	1.34	1.73	2.91			2124	96	86	121	6.5	147	48		3.80	90	0.0883
10	打加间歇泉	41	365	7.21	1.85	7.25	0.80	6.45	261	234	132	165	25	23	440	5.4	1.20	95	0.1123
11	洛洛沸泉	34	265	44.3	2.30	8.25	0.70	7.55	656		70	192	8.8	12.6	515	0.42	6.64	79	0.1283
12	卡乌沸泉	95.1	642	0.20	0.15	21.4	3.62	27.2	403	165	20	660	11.6	205	435	0.22	5.12	86	0.1481
13	金嘎热泉	155	605	174	27.8	23.9	5.24	21.6	987		2.5	964	2.1	49	498	0.02		55	0.2562
14	达作热泉	93.5	890	5.55	5.05	<1	0.55	0.85	762	40	1025	277	2.1	141	51	4.98	7.5	73	0.1051
15	拉多岗热泉	262	960	145	9.40	14.3	4.60	14.1	1130	15		1550	6.0	80	474		1.16	42	0.2729
16	羊八井热水湖	58	370	2.95	1.95	7.58	1.60	7.50	3.72		10	358	12.1	150	175	1.42	0.63	20	0.1568
17	卡布桑臭水	141	715	125	26.1	19.4	3.12	17.8	1153		16	886	2.08	150	385	0.05	10.1	14	0.1972
18	查曲沃沸泉	70	512	4.2	6.9	4.7	1.50	7.18	831	21	86	318	7.14	163	159	0.99	0.63	85	0.1367
19	竹墨沙热泉	610	2580	62.0	17.1	65.4	13.5	99.8	1035		125	4212	9.02	245	2045	19.86	18.6	75	0.2392

注: 编号 8、14 含 Br⁻ 分别为 1.11、7.24; 编号 9 含 NO₃⁻ 0.11; 资料来源编号 1~6 为 [15], 余为 [16]。

表 3 富钾盐湖卤水的化学成分的质量浓度(g/L)

Table 3 Chemical compositions some potassium-rich salt lake brines

湖 名	矿化度	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	$\rho(K^+)/\rho(Na^+)$
西藏布尔嘎错	135.76	4.71	41.72	0.07	3.72	65.29	18.36	0.55	0.36	0.1130
西藏扎仓茶卡Ⅱ湖	215.87	10.19	63.09	0.28	7.31	113.17	20.09	1.52	1.50	0.1615
西藏洞错	92.25	6.55	22.63	0.05	2.99	23.27	34.49	0.00	0.78	0.2894
西藏内尔错	241.18	17.04	40.12	0.00	16.25	91.96	43.47	0.00	0.48	0.4247
西藏拉果错	91.29	5.63	27.06	0.04	1.61	41.92	12.02	0.00	0.70	0.2081
西藏扎布错	193.75	10.46	58.89	0.10	4.15	100.41	18.69	0.07	0.15	0.1776
青海察尔汗	321.39	12.11	71.36	1.02	28.67	201.55	6.41	0.35		0.1697
青海别勒滩	358.15	23.18	23.34	0.44	64.15	239.85	6.70	0.13	0.37	0.9931
青海钾湖	404.10	5.37	4.09	10.81	90.21	293.41	0.04	0.14	0.03	1.3029
青海达布逊	331.85	19.04	41.87	2.19	46.54	219.67	2.33	0.22	0.00	0.4547
内蒙古中泉子	375.89	13.46	127.48	0.08	2.70	175.21	56.64	0.32	0.00	0.1056
内蒙古英德尔湖	237.36	7.16	27.68	0.00	0.69	61.36	22.93	0.92	0.00	0.2582
新疆达板城东湖	351.56	2.52	115.29	0.17	6.42	178.59	50.35	1.00	0.00	0.0219

资源来源: 据文献[22]

表 4 西藏硼锂卤水矿床的卤水化学成分的质量浓度(g/L)

Table 4 Chemical compositions of the boron-lithium brines of the Tibetan brine deposit

类 型	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	Rb ⁺	Cs ⁺	B ³⁺	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Br ⁻	$\rho(K^+)/\rho(Na^+)$
表面卤水	26.60	123.56	0.02	0.88	0.04	0.02	2.73	26.48	19.14	196.07	0.25	0.2152
晶间卤水	39.57	141.72	0.01	1.17	0.06	0.04	4.04	37.52	21.93	156.29	0.61	0.2792

注: Ca²⁺、HCO₃⁻、Γ 均为 0.00; 资料来源: 据文献[22]

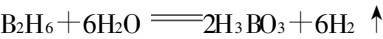
表 5 托斯卡纳汽水溶液组成的质量分数(g/kg)

Table 5 Compositions of the Tuscan gas-liquid mixture

分析年份	H ₂ O	CO ₂	H ₂ S	H ₃ BO ₃	N ₂	CH ₄	H ₂	NH ₃	He Ar Ne
1936	945.87	51.85	0.86	0.50	0.42	0.34	0.05	0.10	痕量
1951	955.52	42.65	0.88	0.30	0.16	0.19		0.30	痕量
1982	945.61	52.18	0.86	0.50	0.39	0.31	0.04	0.10	

资料来源: 据文献[22]。

从表 5 看出, H₂ 的质量分数较低, 这是因为氢的原子质量和原子半径很小, 极易逃逸, 其测得值可能偏低。即如此, 其质量摩尔浓度已比 H₃BO₃、CH₄ 的质量摩尔浓度高。H₃BO₃ 可能是硼氢化物水解的结果:

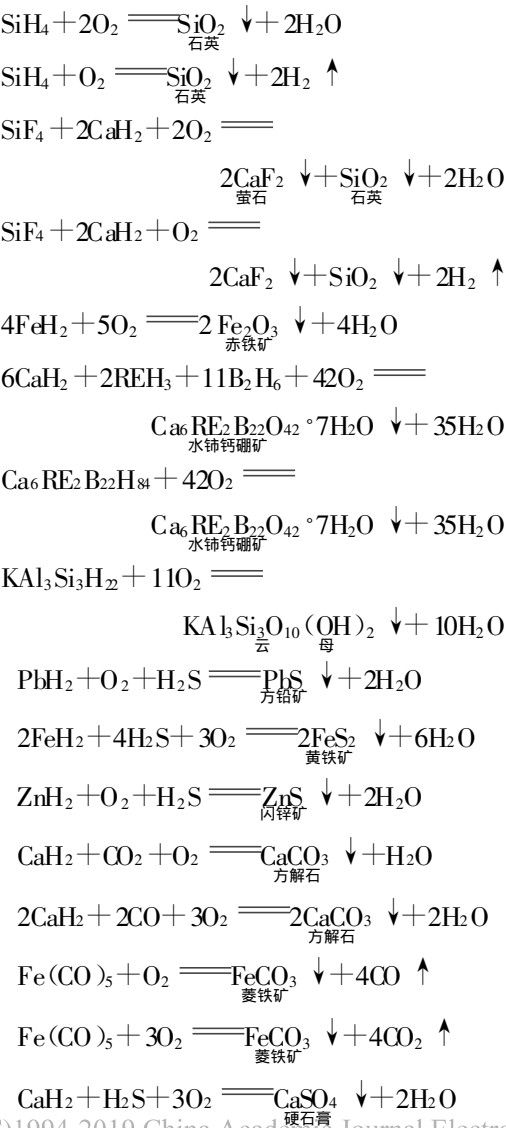


2.5 钾盐矿床中的热液矿物

许多钾盐矿床中有热液矿物产出。如德国西北部威瑟—埃姆斯地区盐构造中, 几乎都有自形石英晶体, 但其含量的差别很大。在原生

沉积物以外, 有上升热液形成石英、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、菱铁矿、赤铁矿、细小鳞片状云母、方解石、萤石等^[23]。上马耳姆和中壳灰统的含盐建造中, 特别富含无色透明的石英晶体。也有黄色、橙色、褐色、乳白色、淡红色、深红色石英, 还有碳氢化物的“臭石英”。美国犹他州东南晚石炭世(中宾夕法尼亚)赫尔莫萨组帕腊多克斯段产出水铈钙硼矿各组分的质量分数为:CaO 21.8%, Na₂O 1.68%, B₂O₃ 48.2%, H₂O 7.75%, Y₂O₃ 1.50%, Ca₂O₃ 4.57%, Ce₂O₃ 7.64%, Pr₂O₃ 1.00%, Nd₂O₃ 3.67%, Sm₂O₃

0.941%, Eu₂O₃ 0.390%, Gd₂O₃ 0.320%, Tb₂O₃ 0.103%, Dy₂O₃ 0.250%, HO₂O₃ 0.054%, Er₂O₃ 0.081%, Tm₂O₃ 0.0023%, Yb₂O₃ 0.018%, Lu₂O₃ 0.010%, ΣRE₂O₃ 20.57%。由细粒晶质的水铈钙硼矿、硬石膏、石盐和少量细粒分散的赤铁矿组成粒径为 0.05~8 mm 球状结核, 其中较大的结核含有黄铁矿晶体。水铈钙硼矿中稀土元素的配分与上升地块中岩石的配分相似, 而不与海水的配分相似^[23]。显然不是海水蒸发、沉淀的产物, 而是热液矿物。它们是呈易挥发的氢化物 (SiH₄、PbH₂、B₂H₆ 的沸点分别为 -111.8 °C、-13 °C、-92.5 °C) 及合金氢化物或羰基化合物 (Fe(CO)₅ 熔点 -20 °C, 沸点 103 °C) 迁移, 然后被氧化、硫化、碳酸盐化、硫酸盐化成矿的。



种类众多分布普遍的上述热液矿物表明, 这类钾盐矿床的成因为陆相富钾热液成矿, 或海相蒸发岩叠加富钾热液成矿。

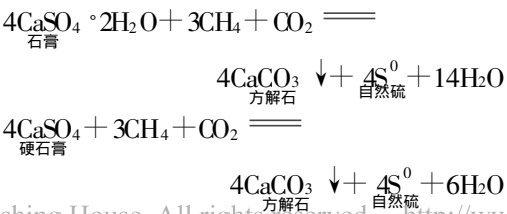
2.6 成盐盆地的地质构造

通过分析成盐盆地的地质构造得出如下结论: (1)含盐岩系经常与火山岩共生, 盆地里发生聚盐作用时有火山活动; (2)含盐岩系的分布界线受深断裂控制; (3)含盐岩系的堆积速度超过沉积岩的形成速度, 而可与火山建造的堆积速度相比; (4)各盆地盐类的聚积都发生于该区构造运动最活跃的时期; (5)盐里缺失海相生物遗迹, 而这种化遗石在海水蒸发浓缩而形成含盐岩系时是肯定存在的^[25]。盐是深部的物质, 很厚的含盐岩系的形成与深部携出的高矿化度热水有关。充满浓盐水的死海地堑, 其盐水成因是由深成作用决定的。在死海地区, 钻孔揭穿了 400 m 的上新一更新世的盐层, 这里盐层总厚度达 8~10 km。在红海盆地, 业已查明有热水, 而在红海的底下, 埋藏有厚达 7.5 km 的基层。在达纳基尔盐谷有许多正在析盐的温泉。这个地区位于红海、亚丁湾和东非诸断裂的交会带里。在这里盐出露地表, 深达 750 m 的钻孔尚未打穿盐层^[25]。温泉、热水的热源来自深部岩浆活动和变质作用。

3 盐卤的变质作用

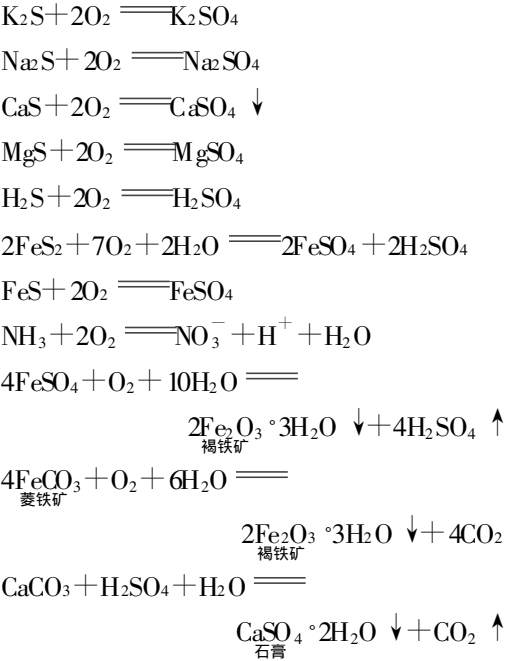
3.1 盐卤在还原环境的变质

盐卤可因还原性气液的汇入而变质。气液中 CH₄、CO 等在硫酸盐还原菌的催化下, 或在高温条件下, 将硫酸盐还原成 S⁰、HS⁻、H₂S, 同时产生 CO₃²⁻、HCO₃⁻、CO₂, 并可导致钙镁铁的碳酸盐沉淀。美国、墨西哥的钾盐顶部冠岩中的石膏、硬石膏转变为自然硫、方解石^[23]就是例证。

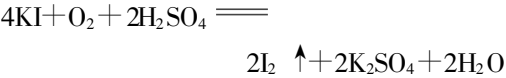


3.2 盐卤在氧化环境的变质

还原性盐卤中 CH₄、CO、H₂ 等还原性气体逸出和氧化,空气中游离氧的不断渗入,逐渐变为氧化性,硫化物变为硫酸盐,氨被氧化为硝酸盐,菱铁矿变为褐铁矿并将钾盐染成红色,其化学反应式如下:

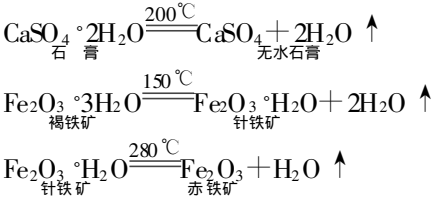
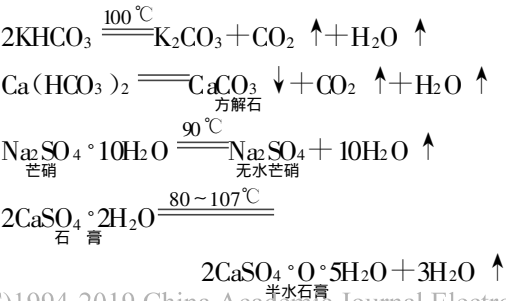


由于硫被氧化成硫酸根,钾钠钙镁锶钡的氯化物即转化为硫酸盐,且能有效除去钡等有害杂质;但盐卤中的碘化物可能氧化成挥发性碘分子损失。



3.3 盐卤在高温环境的变质

高温环境不仅有利于卤水的蒸发、浓缩,也有利于挥发性气体的逃逸,还能加快化学变质与生物化学变质的速率和过程,并可导致一些矿物脱水、脱 CO₂,产生新的矿物相。



值得注意的是,高温环境形成的盐、化合物可以少含或不含结晶水,如可直接形成无水石膏、石英等。

4 钾盐的成矿机制

4.1 钾盐矿床形成的基本条件

钾盐矿床形成的基本条件有:(1)巨大丰富的钾盐物质来源,这是形成钾盐矿床的物质基础和首要条件;(2)有利的地质构造和地理地形条件,有封闭、半封闭的大盆地,其基底有次级凹陷,为持续聚盐、储盐提供空间,为盐类分异富集,形成厚度大、品位高、杂质少的钾盐层创造必要条件;(3)干旱的古气候条件,气候是否干旱除了纬度以外,还须考虑洋流、海陆分布、温度、风向等因素的影响,干旱气候是成盐富集的必备条件;(4)有效的保护盖层,钾盐易溶,在其成矿后须有一定厚度的密不透水的保护盖层,以有效阻挡和避免淡水对盐层的溶解流失。

世界上一些大型钾盐矿床是海相沉积的,或海相沉积叠加陆相热液形成的,我们当然应注意寻找此类矿床。从我国实际情况看,内陆盆地分布广泛,陆相沉积巨厚,且大多是在干旱气候条件下形成的,通过岩浆热液、深层卤水,可提供丰富的钾盐物质来源,又具有较好的盐类分异和富集条件,故应特别注意找寻陆相沉积钾盐矿床。若富钾热液的数量巨大,且有多期富钾热液叠加,亦可形成巨大的钾盐矿床。

4.2 钾盐的分异成矿

在地球深部高温高压还原富氢环境,钾主要呈氢化物迁移,避免了钾与硅、铝生成钾长石等难溶硅铝酸盐对钾迁移的抑制。当钾氢化物迁移至地壳浅部,即与水作用形成 K⁺ 继续迁移,经蒸发浓缩,分异富集,沉积成钾矿床。

盐卤主要成分的分异有结晶分异、迁移分

异、温差分异等。卤水蒸发过程中, 最先晶出沉积于下部的是方解石、白云石等碳酸盐; 次为石膏、无水石膏晶出淀积于碳酸盐上; 再次是石盐晶出淀积于石膏、无水石膏上, 这是因为地下温度一般大于 40°C , 盐类的溶解度 KCl 大于 NaCl , 且大部分 SO_4^{2-} 已被 Ca^{2+} 耗去, 不会有 K_2SO_4 析出; 最后, 钾石盐、光卤石淀积于石盐上, 还有少量石盐继续晶出。如原卤中 SO_4^{2-} 浓度低, Ca^{2+} 浓度高, 钾盐层中将有溢晶石 ($\text{CaMg}_2\text{Cl}_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 产出。

钾质卤液如源于深部强还原性热液, 其盐类矿物的分异淀积受环境的氧化还原性 (E_h 值) 的影响, 如碳酸盐的晶出与 CH_4 、 CO 等氧化成 CO_2 有关, 硫酸盐的淀积与 S^0 、 S^{2-} 、 HS^- 、 H_2S 氧化成 SO_4^{2-} 有关。

在盐类分异淀积过程中, CH_4 、 SiH_4 、 H_2 、 H_2S 、 CO 、 CO_2 等气体成为包裹体固定在盐类矿物中和储于盐粒微细裂隙内。此外, 热液矿物也会沉淀析出。

参考文献:

[1] 杜乐天, 王驹. 气体地球动力学——一个重要的研究新方向[J]. 地球科学进展, 1993, 8(6): 66—73.

[2] 齐进英, 熊义大. 新疆古图金矿床特征及其成因[J]. 矿床地质, 1992, 11(2): 154—164.

[3] 沙德铭. 西天山阿希金矿流体包裹体研究[J]. 贵金属地质, 1998, 7(3): 180—188.

[4] 周济元, 崔炳芳, 陆彦. 新疆哈密王 $\circ$ 西银矿床特征及成因[J]. 矿床地质, 1999, 18(3): 209—218.

[5] 贾斌, 母瑞身, 田昌烈, 等. 西天山伊耳曼得型金矿流体特征及成矿环境[J]. 地质与资源, 2003, 12(3): 146—153.

[6] 刘家远, 钱建平, 程志平, 等. 新疆东准噶尔陆相火山作用与金铜成矿[M]. 北京: 地质出版社, 2002. 102—107.

[7] 胡恒明. 论新疆西准齐尔 I 号金矿床的地质及成因[J]. 长春地质学报, 1989, 19(1): 53—62.

[8] 徐跃通. 江西永平铜钨块状硫化物矿床早期成矿地球化学[J]. 大地构造与成矿学, 1998, 22(1): 55—64.

[9] 陈大径, 杨明寿. 赣西卡林型金矿床流体包裹体地球化学[J]. 矿床地质, 1997, 11(6): 406—412.

[10] 彭人勇, 周云廉, 赵玉美. 江西黄沙金矿床包裹体特征及物理化学条件研究[J]. 黄金, 2001, 22(2): 1—5.

[11] 毛大华. 江西蛤蟆石金矿床地质特征及成因初探[J]. 江西地质, 1998, 12(2): 116—122.

[12] 罗泰文, 高振敏. 成矿流体中铵(氮)的地球化学意义[J]. 地质地球化学, 1996, (2): 98—102.

[13] 邓贵安. 老厂花岗岩破碎带锡矿床地质地球化学特征[J]. 矿产与地质, 1998, 12(4): 230—236.

[14] 郑大中, 郑若锋. 硝酸盐矿床及其盐湖形成机理初探[J]. 盐湖研究, 2000, 8(3): 6—13.

[15] 侯宗林, 郭光裕. 云南腾冲—梁河地热系统与现代热泉型金矿化作用[J]. 地质论评, 1991, 37(3): 243—249.

[16] 佟伟, 廖志杰, 刘时彬, 等. 西藏温泉志[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 1—282.

[17] 郑大中. 水热爆炸归因浅析[J]. 盐湖研究, 2001, 9(4): 1—7.

[18] 郑大中, 郑若锋. 论氢化物是成矿的重要迁移形式[J]. 盐湖研究, 2004, 12(4): 9—17.

[19] 郑大中, 郑若锋. 砷氢化物是砷的重要迁移形式[J]. 化工矿产地质, 2002, 24(2): 101—114.

[20] 张锡根. 西藏羊八井现代地下水系统硫矿的找矿作用[J]. 化工矿产地质, 1998, 20(1): 1—10.

[21] 杜建国, 王先彬, 谢鸿森. 深部物质运动的气体地球化学特征[J]. 地球科学进展, 1994, 9(3): 48—51.

[22] 张彭熹, 张保珍, 唐涵, 等. 中国盐湖自然资源及其开发利用[M]. 北京: 科学出版社, 1999. 1—325.

[23] G $\circ$ 里希特—贝恩布格. 盐矿床地质[M]. 成都: 四川人民出版社, 1983. 91—214.

[24] A $\circ$ A $\circ$ 伊凡诺夫. 盐矿地质与普查勘探[M]. 北京: 地质出版社, 1959. 32—35.

[25] 袁见齐. 世界钾盐新知[M]. 北京: 地质出版社, 1982. 86—89.

Material Sources and Prospecting Indicators of Potassium Deposits

ZHENG Da-zhong, ZHENG Ruo-feng

(Chengdu Comprehensive Rock and Mineral Testing Center, Sichuan 610081, China)

Abstract: The physicochemical properties and behaviors of potassium and related substances, material sources of potassium salts, metamorphoses and crystallization speciation of bitterns, as well as formation conditions and mechanisms of potassium deposits were discussed. It is stressed that potassium-rich hot liquid is one of the most important material sources for the formation of potassium deposits, and that potassium-rich components in fluid inclusions of mineral rocks, potassium-rich hot springs and salt lakes are important prospecting indicators of potassium deposits.

Key words: Potassium deposit; Material source; Prospecting indicator; Potassium-rich hot liquid