

四川盆地海相三叠系液态钾盐 ——富钾含钾气田卤水及其类型和意义

林耀庭 高立民

(西南石油局第二地质大队,四川,自贡 643013)

摘要 四川盆地海相三叠系富钾含钾气田卤水分布广、品质优、资源富。气田卤水除普遍富含 K^+ 组分,构成液态钾盐资源外, Br^- 、 I^- 、 B^{3+} 、 Li^+ 、 Sr^{2+} 等有用组分也超过或达到工业品位,为优质化工原料水。富钾含钾气田卤水有沉积变质型和钾盐溶滤叠加型两类。卤水具有重要的资源意义和固液态钾盐找矿的指示意义。

关键词 液态钾盐 富钾含钾气田卤水 化工原料水 沉积变质 固态钾盐溶滤

钾盐资源分可溶性钾盐、非可溶性钾盐(含钾岩矿)和液态钾盐三大类型。前两者为固态矿,后者为液态矿,而往往被人们所忽视。四川盆地海相三叠系液态钾盐系指一种高矿化度富钾含钾的气田卤水,其分布广、资源富。卤水除含钾外,尚富含 Br^- 、 I^- 、 B^{3+} 、 Li^+ 、 Sr^{2+} 等多种有用组分,是具有很大经济意义的综合性液态矿产资源。

近年来,随着四川盆地油气勘查开发工作的深入发展,从川东到川西及川东北到川西北到川中的许多油气构造在油气探井钻进中,钻遇不少下、中三叠系富钾含钾气田卤水,引起了人们的关注。本文拟就四川盆地海相三叠系液态钾盐—富钾含钾气田卤水的化学组分品位、成因类型划分及其资源找钾意义作一综述,以利拓宽思路,扩大找钾领域,重视开辟液态钾盐—富钾含钾气田卤水的勘查开发工作以弥补我国钾盐资源及化工原料的短缺。

1 地质背景

四川盆地早、中三叠世,在上扬子台地海水旋进旋退及总的浅水海退背景下,形成一套潮上蒸发岩和浅水碳酸盐岩的频繁交替沉积,当台地海平面上升时,沉积碳酸盐岩(石灰岩及白云岩);台地海平面下降时,则形成蒸发岩(石膏—岩盐—钾镁盐矿物)。碳酸盐岩和蒸发岩的沉积分布遍及整个四川盆地,面积超过 $2 \times 10^5 km^2$,厚度800—1300m(图1)。

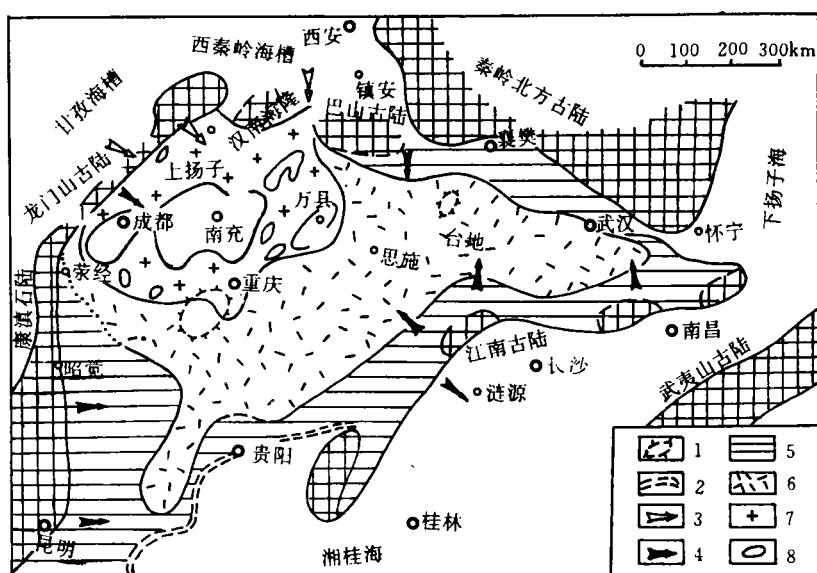


图1 上扬子台地早中三叠世古地理略图

1. 水下隆起 2. 生物堤礁 3. 海水补给方向 4. 水源补给方向
5. 碳酸盐岩、碎屑岩沉积区 6. 石膏沉积区 7. 石盐沉积区 8. 盐盆(体)

四川盆地液态钾盐以富钾含钾气田卤水形式深埋于地下 1000—4000m 左右的海相三叠系嘉陵江组(T_{1j})及雷口坡组(T_{2l})碳酸盐岩储层中,并与相邻的蒸发岩系中的硬石膏、泥岩所构成的隔层关系密切,组成了储、隔层相间平行叠置的气田水组合。从总体而言,盆地三叠系嘉陵江组的 T_{1j}^1 、 $T_{1j}^3-T_{1j}^{4-1}$ 、 T_{1j}^{5-1} 和雷口坡组的 T_{2l}^{1-2} 、 T_{2l}^{3-1} 、 $T_{2l}^{3-3}-T_{2l}^{4-1}$ 等为碳酸盐岩层段,碳酸盐岩发育有不同程度的孔隙、晶隙、层间裂隙、微细裂隙等储集空间,具有相对较好的储集性能,往往有利于油气或富钾含钾气田卤水储存,构成主要的气田卤水层(图 2)。特别是在后期喜马拉雅构造运动影响下,四川盆地发育众多的局部构造隆起,并伴随构造断裂分布,形成现今四川盆地构造格局。在众多的局部构造中不少是气田构造,并往往气卤共存,在构造隆起高点及断裂发育带上富集富钾含钾气田卤水—液态钾盐。

2 富钾含钾气田卤水的化学组分及品位

四川盆地海相三叠系液态钾盐—富钾含钾气田卤水浓度一般较高,其矿化度多大于 250g/L,最高达 352—377g/L。卤水除 Cl^- 、 Na^+ 浓度很高外, K^+ 含量异常高,一般为 7.18—25.95g/L,平均为 18.86g/L,最高可达 53.27g/L,已超出海水最高浓缩阶段的 K^+ 含量(海水蒸发浓缩至钾盐沉积阶段 K^+ 的含量为 25.00g/L)^[1],也远高于青海察尔汗、西藏札布耶和智利阿塔卡玛、美国西尔斯盐湖卤水的 K^+ 含量(图 3),并超过卤水 KCl 工业品位和固态钾盐的 KCl 工业品位,成为当今世界上罕见的液态钾盐^[2]。此外富钾含钾气田卤水尚含国家急缺的 Br^- 、 I^- 、 B^{3+} 、 Li^+ 等有用组分,其含量也均已超过或达到工业指标。现将盆地各地区取其有代

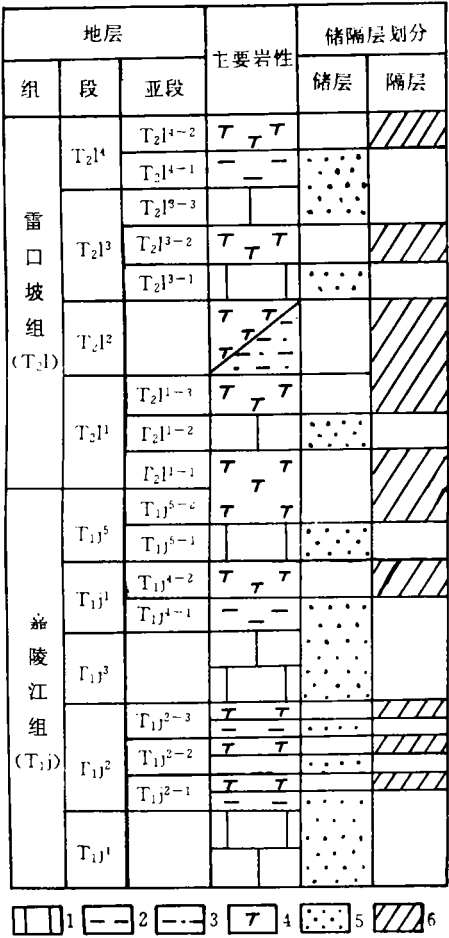


图2 四川盆地 T_{1j}—T_{2l} 卤水储隔层划分示意图

1. 石灰岩 2. 白云岩 3. 泥质白云层
4. 硬石膏 5. 储卤层 6. 隔卤层

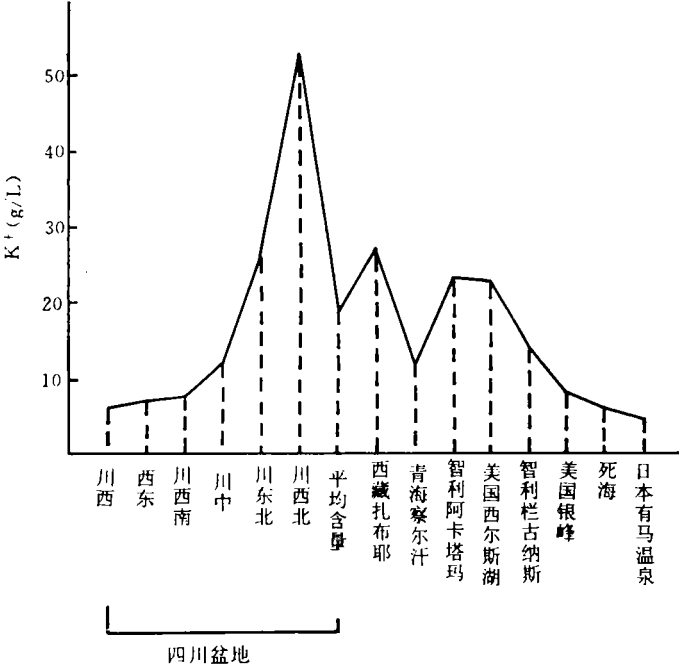


图3 四川盆地富钾含钾气田卤水与国内外含钾卤水含量对比图

表性的富钾含钾气田卤水的化学组分列于表1。若与工业品位比较,其中 K⁺含量是综合利用工业品位的 4.9—40.9 倍,是单独开采工业品位的 2.1—17.1 倍。Br⁻、I⁻、B³⁺、Li⁺、Sr²⁺、R_b⁺含量分别是综合利用工业品位的 2.3—16.8 倍、2.0—3.8 倍、2.4—33.2 倍、6.9—24.6 倍、7.5—27.0 倍和 3.2—3.7 倍,是单独开采工业品位的 1.2—8.4 倍、0.67—1.28 倍、1.2—16.6 倍、3.7—13.1 倍、3.7—13.5 倍和 1.61—1.88 倍(表2)。可见它不仅是品质优的液态钾盐资源,而且是一种含多种有用组分的优质化工原料水,具有很高的经济价值。

表 1 四川盆地海相三叠系富钾含钾气田卤水化学组分表

地 区	常量组分(g/L)							矿化度	微量组分(mg/L)						
	Na+	K+	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻		Br ⁻	I ⁻	B ³⁺	Li ⁺	Sr ²⁺	Rb ⁺	Cs
川西北	98.789	53.267	3.630	3.166	210.084	1.394	1.129	377.268	2533	38.38	4994	89.8	166	37.5	2.55
川东北	100.517	25.955	10.877	1.258	201.971	0.375	0.374	352.693	1675	38.0	1694	323.0	597	32.2	3.89
川中	89.103	12.500	10.797	1.658	171.875	/	/	292.470	1781	30.2	1469	/	/	/	/
川西南	77.462	7.903	7.451	7.453	161.475	0.886	/	265.200	1799	20.1	1349	91.0	292	/	/
川东	69.542	7.183	2.000	0.272	117.041	1.017	0.660	197.530	345	/	357	/	/	/	/
川西	75.146	6.376	8.021	/	134.312	1.361	2.728	227.980	930	33.2	829	91	/	/	/
平均	84.760	18.864	7.129	2.761	166.126	1.007	1.213	285.524	1511	32.0	1782	148.7	352	34.9	3.22

3 富钾含钾气田卤水类型

深层地下气田卤水通常有沉积水和溶滤水两大类型,有时尚有沉积变质水和沉积变质—溶滤叠加型水。四川盆地富钾含钾气田卤水在漫长的地史经历中,经受各种物理、化学和生物等因素的叠加类型,其成因类型绝非原始单一的沉积水。

表 2 四川盆地海相三叠系富钾含钾气田卤水有用组分(mg/L)与工业品位对比

有 用 组 分		Br ⁻	I ⁻	B ³⁺	K ⁺	Li ⁺	Sr ²⁺	Rb ⁺
工 业 品 位	综合利用(A)	150	10	150	1300	13.1	22.1	10
	单独开采(B)	300	30	300	3100	24.6	44.2	20
富 钾 含 钾 气 田 卤 水	川西北(C ₁)	2533	38.38	4994	53267	89.8	166	37.5
	川东北(C ₂)	1675	38.0	1694	25955	323.0	597	32.2
	川中(C ₃)	1781	30.2	1469	12500	/	/	/
	川西南(C ₄)	1799	20.1	1349	7903	91.0	292	/
	川东(C ₅)	345	/	357	7183	/	/	/
	川西(C ₆)	930	33.2	829	6376	91.0	/	/
	平均(C ₇)	1511	32.0	1782	18864	148.7	352	34.9
综 合 利 用 增 高 倍 数	C ₁ :A	16.89	3.84	33.29	40.97	6.85	7.51	3.75
	C ₂ :A	11.17	3.80	11.29	19.97	24.66	27.01	3.22
	C ₃ :A	11.87	3.00	9.79	9.61	/	/	/
	C ₄ :A	11.99	2.01	8.99	6.08	6.95	13.21	/
	C ₅ :A	2.30	/	2.38	5.53	/	/	/
	C ₆ :A	6.20	3.32	5.53	4.90	6.95	/	/
	C ₇ :A	10.07	3.20	11.88	14.51	11.35	15.92	3.49
单 独 开 采 增 高 倍 数	C ₁ :B	8.44	1.28	16.65	17.18	3.65	3.76	1.88
	C ₂ :B	5.58	1.26	5.65	8.37	13.13	13.50	1.61
	C ₃ :B	5.94	1.01	4.90	4.03	/	/	/
	C ₄ :B	5.99	0.67	4.50	2.55	3.70	6.61	/
	C ₅ :B	1.15	/	1.19	2.32	/	/	/
	C ₆ :B	3.10	1.11	2.76	2.06	3.70	/	/
	C ₇ :B	5.04	1.06	5.94	6.09	6.04	7.96	1.75

注:工业品位系根据 1994 年地科院矿床地质研究所宋鹤彬资料。

盆地富钾含钾气田卤水既赋存于海相三叠系碳酸盐岩—蒸发岩沉积建造,显然是与海成沉积水密切相关。但从表 3 看出,盆地富钾含钾气田卤水的水化学特征系数与海水蒸发浓缩各阶段沉积卤水比较,明显的可有两种类型,即沉积变质富钾含钾气田卤水和沉积变质—钾盐溶滤叠加型富钾含钾气田卤水两类。

表 3 四川盆地三叠系富钾含钾气田卤水与海水各浓缩阶段化学系数对比表

项目		Cl ⁻ (g/kg)	K · 10 ³ /Cl	Br · 10 ³ /Cl	K/Br	Na/Cl(摩尔)	Cl/Br
富钾含钾气田卤水	川西北	169.56	253.85	12.06	21.03	0.71	82.94
	川东北	164.83	128.51	8.29	15.50	0.77	120.58
	川中	141.93	72.72	10.36	7.02	0.80	96.50
	川西南	135.12	48.94	11.13	4.40	0.74	89.81
	川东	102.76	61.37	2.95	20.82	0.91	329.25
	川西	116.29	47.47	6.92	6.86	0.86	144.42
海水蒸发浓缩阶段卤水	原始海水	17.15	19.40	3.48	5.37	0.87	287.38
	石膏沉积	118.36	18.91	3.50	5.41	0.78	286.04
	石盐沉积	154.18	47.90	3.99	12.02	0.81	250.85
	泻利盐沉积	146.60	85.70	15.65	5.48	0.34	63.89
	钾石盐沉积	185.44	100.78	22.94	4.39	0.074	43.59
	光卤石沉积	242.93	3.36	36.31	0.11	0.0068	38.00

注:海水蒸发数据陈郁华 1981 年黄海海水蒸发实验数据计算而得。^[1]

3.1 沉积变质富钾含钾气田卤水

据资料,海水的 Na/Cl 和 Cl/Br 两对系数具有最大的稳定性。“当 Na/Cl(摩尔)≈0.87, Cl/Br≈300,卤水为正常海水衍生而来,当 Na/Cl(摩尔)<0.87,Cl/Br<300,则卤水发生了变质作用。系数值越小,变质作用就越强烈”^[3]。而四川盆地绝大多数富钾含钾气田卤水的 Na/Cl(摩尔)普遍小于 0.87,Cl/Br 普遍小于 300,当属沉积、变质富钾含钾气田卤水,源于海成沉积水衍生而来。而富钾含钾气田卤水中的稳定组分 Br、I、B、Li 等都有较海水显著增高的特点,这为富钾含钾气田卤水的沉积变质成因提供了进一步的佐证^[4]。

3.2 沉积变质—钾盐溶滤叠加型富钾含钾气田卤水

分布于盆地的富钾含钾气田卤水中,唯川西北和川东北的富钾含钾气田卤水 K · 10³ 和 K/Br 系数值异常偏高,它较海水钾盐沉积阶段还高出 1.04—2.13 倍,而 Br · 10³/Cl 却较海水钾盐沉积阶段偏低 0.36—0.53 倍(表 4),两者很不协调,这显然是与溶滤了固相钾盐有关^[5]。

表 4 川东北及川西北富钾含钾气田卤水
 K^+ 、 $K \cdot 10^3/Cl$ 、 $Br \cdot 10^3/Cl$ 与海水钾盐阶段比较

项	目	$K^+(g/L)$	$K \cdot 10^3/Cl$	$Br \cdot 10^3/Cl$
富钾含钾气田卤水	川东北(A_1)	25.955	128.51	8.29
	川西北(A_2)	53.267	253.55	12.06
海水钾盐沉积阶段(B)		25.000	100.78	22.94
增高倍数	$A_1 : B$	1.04	1.28	0.36
	$A_2 : B$	2.13	2.51	0.53

若将盆地富钾含钾气田卤水的 $K \cdot 10^3/Cl$ 、 K/Br 、 Na/Cl (摩尔)和 $Br \cdot 10^3/Cl$ 系数值投入 M. Γ. 瓦里亚什科实验所作海水浓缩的这些系数的变化曲线图上,发现唯川东北、川西北富钾含钾气田卤水的落点位置在 $K \cdot 10^3/Cl$ 、 K/Br 、 Na/Cl (摩尔)、 $Br \cdot 10^3/Cl$ 曲线上的右侧和右上方,且偏离曲线甚远(图 4)。据 Γ. B. 别丘科夫的研究指出:“海水和海成沉积卤水的这些系数值沿 $OK-a-b-c-d-e$ 曲线分布,淋滤钾盐的淋滤卤水分布在这些曲线的右上方或右侧”^[5]。由此川东北和川西北富钾含钾气田卤水为沉积变质和钾盐溶滤叠加型的卤水特征,便得到进一步佐证。

4 液态钾盐—富钾含钾气田卤水的资源意义

四川盆地气田卤水资源丰富,据资料介绍盆地仅三叠系储层气田卤水资源量为 19600 亿 m^3 ,是江汉盆地的 144 倍,其中海相三叠系中一下统储层气田卤水资源量就达 2200 亿 m^3 ^[6]。盆地自流井构造卤水开采逾千年历史,闻名于世,但仅采出 1.95 亿 m^3 ,由此可见盆地海相三叠系含钾气田卤水资源量极为丰富。

盆地海相三叠系富钾含钾气田卤水除普遍含 K^+ 较高外,尚富含 Br^- 、 I^- 、 B^{3+} 、 Li^+ 等多种有用组分,在国民经济中用途极为广泛,皆是国家短缺的无机化工原料。它是一种品质优异的液态钾盐兼含多种有用组分的综合性液态矿产资源,具有重要的资源意义。

4.1 对弥补我国钾盐短缺有重要意义

我国钾盐资源短缺,农业严重缺钾。据我国农业专家认为,到 2000 年我国 $N-P_2O_5-K_2O$ 施肥比例应调整为 $1 : (0.4-0.5) : (0.25-0.3)$, K_2O 需要量至少要超过 600 万吨^[7]。目前我国年产钾肥尚不到 20 万吨,即使扩建的青海钾肥厂到 2000 年正式建成投产,其 KCl 产量为 100 万吨,折合 K_2O 仅 63 万吨,为届时需要量的 $\frac{1}{10}$,缺口仍然很大,国家每年仍需花费巨额外汇进口钾肥的局面将难以改变。而四川盆地海相三叠系富钾含钾气田卤水资源丰富, K^+ 含量高,因此面对现实,改变观念,拓宽思路,扩大找钾领域,开辟四川盆地海相三叠系液态钾盐—富钾含钾气田卤水的勘查和开发利用,无疑对弥补我国钾盐资源短缺有一定意义。

4.2 对为国家提供短缺的无机化工原料有重要的资源及利用意义

富钾含钾气田卤水中的 Br^- 、 I^- 、 B^{3+} 、 Sr^{2+} 、 Li^+ 等有用组分,皆是国家短缺的无机化工原料^[2],其含量均能达到综合利用和单独开采工业品位。仅盆地富钾含钾气田卤水有用组分平均含量即分别超过综合利用工业品位的 10.07 倍、3.20 倍、11.88 倍、15.92 倍和 11.35 倍;分别

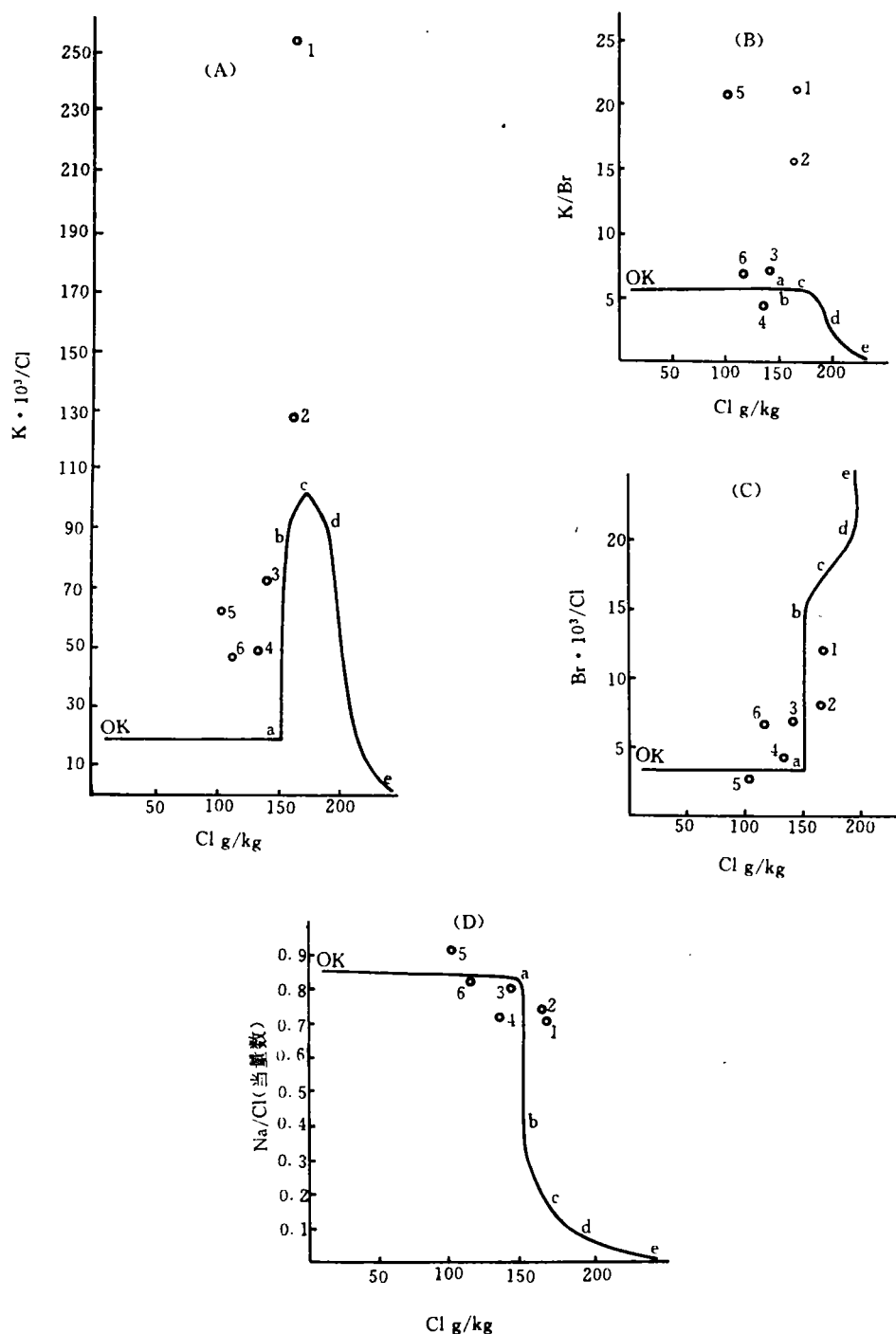


图 4 四川盆地富钾含钾气田卤水在海水浓缩过程中 $\frac{K \cdot 10^3}{Cl}$ (A)、 $\frac{K}{Br}$ (B)、 $\frac{Br \cdot 10^3}{Cl}$ (C)、 $\frac{3Na}{3Cl}$ (D) 系数变化曲线图上的落点位置图

1. 川西北; 2. 川东北; 3. 川中; 4. 川西南; 5. 川东; 6. 川西

注: 在 OK—a—b—c—d—e 海水浓缩曲线上 OK—a 为石膏沉积; a—b 为石盐沉积; b—c 为泻利盐沉积; c—d 为钾石盐沉积; d—e 为光卤石沉积阶段。

超过单独开采工业品位的 5.04 倍、1.06 倍、5.94 倍、7.96 倍和 6.04 倍(参见表 2)。若综合回收利用其有用组分可以实现全闭路无三废排放工艺,且各产品皆为目前国内外市场上适销对路、持续需求的化工原料,有很大的开发潜力和市场竞争能力。

盆地内富钾含钾气田卤水皆具有高承压的特点,卤水可自溢井口或承压至地表附近,可直接利用或在井口浅处引流就近抽液利用,对开采极为有利。卤水中的各种有用组分按平均含量计,单位体积(m^3)卤水化工产品产量见表 5。

表 5 四川盆地含钾气田卤水单位体积可提取的化工产品量

有用组分	含量(mg/L)	折合化工产品		工业回收率 (%)	单位体积卤水 可提取产品量(kg/m^3)
		产品	kg/m^3		
K^+	18864	KCl	35.968	75	26.976
Br^-	1151	Br_2	1.511	70	1.058
I^-	32	I_2	0.032	65	0.0208
B^{3+}	1782	H_3BO_3	10.191	60	6.115
Li^+	148.7	Li_2CO_3	0.791	50	0.396
Sr^{2+}	352	SrCO_3	0.593	50	0.297
Na^+	84760	NaCl	215.470	50	107.735

盆地富钾含钾气田卤水若按日产卤量及日处理卤水 4000m^3 及年生产按 330 天计,即可生产出 KCl 35608t/a , H_3BO_3 8071t/a , Br_2 1396t/a , I_2 27.46t/a , Li_2CO_3 522t/a , SrCO_3 392t/a , NaCl 142210t/a 。这些盐化工产品按市场价值计算,年总产值 1.8766 亿元,其中化工产品的产值约 1.1656 亿元,占总产值的 62.11%;食盐产值约占 37.89%。年可获利润(指税前利润)约 8682 万元,其中化工产品利润约 5127 万元,占总利润的 59.05%(表 6)。可见盆地海相三叠系富钾含钾气田卤水不仅是液态钾盐资源,而且也是优质化工原料水,具有重要资源及开发利用意义。

表 6 四川盆地富钾含钾卤水按日产卤量 4000m^3 计化工产品的
年产量、年产值、年效益

化工产品	产量(t/a)	年产值		年效益(万元)	
		单价(元/ t)	产值(万元)	吨利润	总利润
KCl	35608.32	1000	3560.8	0.04	1424.3
Br_2	1396.56	10000	1396.5	0.5	698.3
I_2	27.46	150000	411.9	10	274.6
H_3BO_3	8071.80	6000	4843.1	0.3	2421.5
Li_2CO_3	522.72	25000	1306.8	0.5	261.4
SrCO_3	392.04	3500	137.2	0.15	47.0
NaCl	142210.20	500	7110.5	0.025	3555.3
合 计			18766.8		8682.4

5 叠加型富钾含钾气田卤水对寻找固态钾盐的指示意义

从川东北和川西北富钾含钾气田卤水化学系数特征的研究表明,其 $K \cdot 10^3/Cl$ 、 K/Br 的异常偏高,而 $Br \cdot 10^3/Cl$ 偏低,乃与固态钾盐的溶滤密切相关,这对于寻找固态钾盐有指示意义。它揭示了该两地区原始盐系沉积剖面上或原始成盐盆地中应有固态钾盐沉积,予示有寻找固态钾盐前景,该认识值得重视和进一步探索。因而今后应加强盆地富钾卤水的勘查开发和综合利用研究力度,并将固液态找钾工作结合起来,以更有利地获得找钾工作的实质性进展。

参 考 文 献

- [1]陈郁华,地质学报,1983(4):379—384.
- [2]林耀庭,致密岩石气藏勘探开发,1998(1):16—17.
- [3]汪蕴璞等,深层卤水形成问题及研究方法,北京:地质出版社,1982,68—69.
- [4]林耀庭,井矿盐科技情报,1995(4):18—19.
- [5]陈郁华,国外钾盐矿床普查资料(专辑),地质科学院情报所编译,1972,37—40.
- [6]杨立中,四川地质学报,1992(3):227.
- [7]潘振玉等,化肥工业,1997(2):7.

Liquid Potassium Salt of Marine Triassic System in Sichuan—Rich or Poor Potassium Contained Gas Field and Its Type

Ling Yiaoting GaoLiming

(No. 2 Term, The southeastern Oil Department, Zigong, Sichuan 643013)

Abstract

High quality marine Triassic system gas fields containing rich or poor potassium salt widely distribute in Sichuan Basin. In gas field brine, except for components, which contain potassium element, there are also Br^- , I^- , B^{3+} , Li^+ , Sr^{2+} , which are valuable for industrial destination. This gas brine has two types as metagenesis and potassium salt leach stack, is meaningfulness as resource and being indication for seeking potassium minerals.

Keywords Liquid potassium Salt, Gas field containing rich or poor potassium salt, Rwa chemical water, Metagenesis, Solid potassium salt leach