

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

林耀庭

(西南石油地质局第二地质大队, 自贡 643013)

颜仰基

(中国地质科学院成都地质矿产研究所, 成都 610082)

摘要 四川盆地西部富钾卤水以深层卤水形式赋存于地下 4000 余 m 的中三叠统雷口坡组四段(T_21^4)盐系的碳酸盐岩储层中。富钾卤水与海水不同浓缩阶段相比,其中含 K^+ 含量异常高,构成液态钾矿资源; Br^- 、 I^- 、 B^{3+} 、 Li^+ 等稀有组分也远超过综合利用工业品位,为优质化工原料水。富钾卤水为沉积变质和钾盐溶滤的复合成因,具有固液态找钾的指示意义。本文为四川盆地固液态找钾提供了有价值的线索。

关键词 水文地球化学 古沉积水 变质演化 钾盐溶滤 富钾卤水 化工原料水 四川盆地

四川盆地卤水星罗棋布,开发历史悠久,早为中、外所瞩目。近年来随着地质勘查工作的发展,盆地各地又不断发现富钾卤水或高钾卤水,特别是最近在盆地西部发现的富钾卤水,品质特别优异,其钾、硼等有用组分含量之高为国内外所罕见,实属优质化工原料水,并构成重要的液态钾矿资源。本文拟对富钾卤水水化学组成特点分析基础上,对卤水成因、资源及固、液态找钾意义进一步作些探讨,以利促进四川盆地固液态找钾工作发展及理论研究的深化。

1 地质及水文地质背景

富钾卤水位于四川盆地西部龙门山断褶带南段地下隐优的某局部构造高点,寓于盆地三叠世雷四(T_21^4)成都盐盆。该盐盆随着三叠世上,扬子台地开江——泸州隆起带的不断上升而扩大,成为四川盆地三叠纪海水向西撤退时形成的最后一个成盐盆地,面积约 10000km²。盐盆蒸发岩发育,成盐卤水浓缩程度较高。其盐系为一套硬石膏和石盐的频繁交替沉积,头部分菱镁质白云岩,盐系厚达 500m±,中上部已有多层杂卤石和红石盐分布及硫镁矾矿物,石盐层累厚达 120 余 m, $Br10^3/Cl$ 为 0.4±,是四川盆地三叠世成盐找钾远景最大的含盐盆地之一(图 1)。富钾卤水即赋存于深埋地下 4000 余 m 的雷四段(T_21^4)白云岩储层中,有多个碳酸盐溶孔——裂隙储卤层显示。储卤层富水性良好,卤水可自溢于井口,涌水量大,卤层压力和井口压力分别可达 600kg/cm² 和 100kg/cm² 以上,日产卤量至少可达数百 m³。在自然条件下,卤水富集在局部背斜构造核部及断裂发育带上。处于深埋封闭条件下的卤水,在受地静压力驱动下,测压水头很高,弹性储量极大。

2 富钾卤水的水化学组成及特点

2.1 水化学组成

卤水的水化学组成是在一定的地质环境和物理化学条件下形成和演变的结果,它是研究卤水成因的基础。

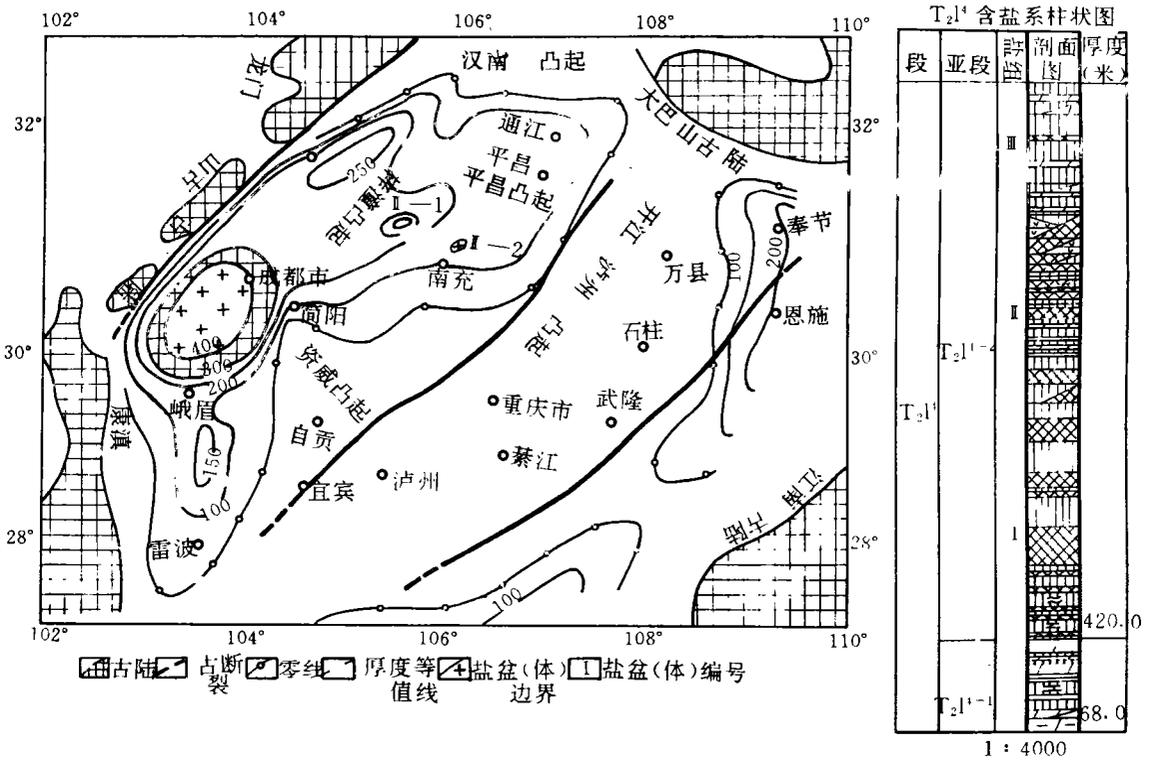


图1 四川盆地三叠纪 T₂l₁ 盐盆(体)分布图

富钾卤水已采集若干次不同时期的卤水样品,经有关单位化验分析,卤水各组分无有大的波动和变化,品质稳定。其矿化度平均值为 377.27g/L,并富含 K⁺、Br⁻、I⁻、B³⁺、L⁺等多种有用组分,详见表 1。

表 1 四川盆地西部富钾卤水化学组成表

阳 离 子 组 分 (g/L)							
K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sr ²⁺	Li ⁺	Rb ⁺	Cs ⁺
53.267	96.789	3.630	3.166	0.166	0.090	0.037	0.003
阴 离 子 组 分 (g/L)							
Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Br ⁻	I ⁻	B ₄ O ₇ ²⁻	矿化度	B ₂ O ₃
210.084	1.394	1.129	2.533	0.038	17.925	377.268	16.079

2.2 水化学组成特点

1983年陈郁华对我国黄海海水作过 25℃ 恒温蒸发的析盐系列及某些微量元素分布规律的研究。现将该富钾卤水的组成与黄海海水蒸发资料进行比较(表 2),可明显看出有如下一些特点:

(1)按富钾卤水矿化度和 Br⁻ 的含量,仅相当海水泻利盐析出阶段,但 K⁺ 含量异常高,达 53.27g/L,远高于海水各浓缩阶段的 K⁺ 含量。在正常海水各浓缩阶段则不应出现如此高的

表 2 四川盆地西部富钾卤水与黄海水各沉积阶段水化学组成对比表

浓缩阶段	比重	矿化度 (g/L)										稀 有 组 分 (mg/L)							B ₂ O ₃ (g/L)
		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	Li ⁺	Rb ⁺	Sr ⁺	B ³⁺					
原始海水	1.0224	32.00	0.34	9.89	0.38	1.19	0.13	2.42	17.53	61.00	<0.01	0.17	0.11	17.80	4.30	0.014			
文石沉积	1.0687	103.10	1.10	32.19	1.13	3.82	0.14	7.96	56.53	200.16	<0.01	0.55	0.38	22.55	17.08	0.055			
黄石	1.1000	148.40	1.40	45.70	1.50	5.62	0.20	11.55	82.05	281.79	<0.01	0.97	0.50	32.89	17.08	0.055			
膏石	1.1620	237.80	2.60	69.97	0.77	9.36	0.15	15.23	137.53	480.81	0.02	1.38	0.83	47.92	45.62	0.147			
石盐	1.2124	348.90	3.00	111.20	0.49	12.39	0.07	37.09	183.59	651.80	0.029	1.63	1.18	55.00	46.87	0.151			
海薄利盐	1.2186	332.85	9.00	99.58	0.47	13.84	0.13	20.25	187.89	749.00	0.071	1.85	1.35	59.85	51.25	0.165			
开始沉积	1.2297	340.95	14.50	82.82	0.29	22.66	0.07	32.35	183.59	1178.00	3.00	2.70	56.33	107.50	0.346				
沉 积	1.2894	396.75	16.20	42.21	0.25	59.08	/	84.50	189.03	2958.75	0.280	8.13	5.88	26.25	203.13	0.654			
钾石盐沉积	1.3376	459.20	25.00	11.95	0.20	90.40	/	74.00	248.05	5691.00	0.370	16.25	7.00	未见	431.25	1.389			
光卤石沉积	1.3962	532.34	1.14	1.77	0.10	129.02	/	43.10	339.18	10504.70	0.400	35.71	未见	未见	809.50	2.606			
水氯镁石沉积	1.4057	539.16	0.73	1.77	/	130.15	/	500.40	334.91	11614.20	45.24	未见	未见	1077.83	3.470				
四川盆地西部富钾卤水	1.2380	377.27	53.27	96.79	3.63	3.17	1.13	1.39	210.08	2533.00	38.38	89.80	37.50	166.00	4994.36	16.079			
富钾卤水	0.960	0.951	3.288	2.293	14.520	0.054	16.143	0.016	1.111	0.856	137.071	11.045	6.378	6.324	24.586	24.586			
薄利盐沉积																			

注: 据陈郁华 1983 年黄海水蒸发实验资料; 其中 I 组分含量系根据李亚文、韩蔚田南海蒸发资料。

K⁺含量。

(2)随海水浓缩阶段发展,在光卤石沉积阶段之前,K⁺和Br⁻含量均对应增高,但该富钾卤水两者不协调对应。如与海水钾盐沉积阶段相比,K⁺含量增高比例2.131,而Br⁻仅为0.444倍(表3)。

表3 四川盆地西部富钾卤水K⁺、Br⁻含量与海水沉积阶段比较

项	目	K ⁺ (g/L)	Br ⁻ (g/L)
四川盆地西部富钾卤水		53.267	2.533
海 水	薄利盐沉积阶段	16.200	2.959
	钾石盐沉积阶段	25.000	5.691
增高比例	薄利盐阶段	3.288	0.856
	钾石盐阶段	2.131	0.444

(3)稀有组分I⁻、B³⁺、Li⁺及Rb⁺等,随海水浓缩阶段发展,不断增高,其最高含量分别为0.4mg/L、1077.83mg/L、45.24mg/L和7mg/L。盆地西部富钾卤水与之比较均显著增高,增高比例分别为95.95、7.96、1.99和5.36(表4)。可见该富钾卤水较海水各阶段富含I⁻、B³⁺、Li⁺、Rb⁺等稀有组分。

表4 四川盆地西部富钾卤水稀有组分与海水最高含量比较(单位mg/L)

项	目	I ⁻	B ³⁺	Li ⁺	Rb ⁺
四川盆地西部富钾卤水		38.38	4994.00	89.80	37.5
海水最高含量		0.4*	1077.83	45.24	7.0
增高比例		95.95	7.96	1.98	5.36

*I⁻系根据中国地质大学(北京)李亚文、韩蔚田的南海蒸发资料

(4)Mg²⁺和SO₄²⁻含量随海水浓缩阶段发展,基本上也相应地增高。但该富钾卤水Mg²⁺和SO₄²⁻含量还不及海水碳酸盐沉积阶段的含量,明显偏低,显示了该卤水贫Mg²⁺、贫SO₄²⁻的特点。而卤水的Ca²⁺和HCO₃⁻含量高于海水各沉积阶段(表5)。

表5 四川盆地西部富钾卤水Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻、HCO₃⁻与海文石阶段比较(单位g/L)

项	目	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻
全地西部富钾卤水		3.166	1.394	3.630	1.13
海水文石沉积阶段		3.820	7.960	1.130	0.14
比 例		0.83	0.18	3.21	8.07

通过上述对比可见,该富钾卤水的水化学组成,与海水及各浓缩阶段卤水存在明显差异。简单归纳该卤水具有高矿化度、富钾、富硼和富含碘、锂、铷等稀有组分及贫镁、贫硫酸根,以及钙、重碳酸根偏高等特点。由此说明该富钾卤水并非由古海水单纯浓缩形成。

表 6 四川盆地西部富钾卤水与黄海水各沉积阶段的水化学系数

浓缩阶段	矿化度 (g/L)	$\frac{\text{Br} \cdot 10^3}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{K} \cdot 10^3}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{K}}{\text{Br}}$	$\frac{\text{Cl}}{\text{Br}}$	$\frac{{}^3\text{Na}}{\text{Cl}}$	$\frac{{}^3\text{(Na+K)}}{\text{Cl}}$	$\frac{{}^3\text{Mg}}{\text{Cl}}$	$\frac{{}^3\text{Na}}{\text{K}}$	$\frac{\text{SO}_4 \cdot 10^2}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10^3}{\text{Cl}}$
原始海水	32.00	3.48	19.40	5.37	287.38	0.87	0.89	0.20	49.47	13.81	0.80
石 开始	148.40	3.43	17.06	4.97	290.99	0.86	0.86	0.20	55.52	14.08	0.67
黄 膏 沉积	237.80	3.50	18.91	5.41	286.04	0.78	0.79	0.20	45.77	11.07	1.06
石 开始	348.90	3.55	16.34	4.60	281.66	0.93	0.93	0.20	63.04	20.20	0.82
盐 沉积	332.85	3.99	47.90	12.02	250.85	0.81	0.82	0.21	18.82	10.78	0.87
海 泻利盐 开始	340.95	6.41	78.98	12.31	155.85	0.69	0.76	0.36	9.71	17.60	1.88
沉积	396.76	15.65	85.70	5.48	63.89	0.34	0.42	0.91	4.43	44.70	3.46
钾石盐沉积	459.20	22.94	100.78	4.39	43.59	0.074	0.17	1.06	0.81	29.83	5.60
光卤石沉积	532.34	26.31	2.86	0.11	38.00	0.0068	0.0098	0.94	2.64	10.80	6.53
水氯镁石沉积	539.16	34.68	2.18	0.06	28.84	0.0081	0.0101	1.13	4.12	15.05	10.36
四川盆地西部富钾卤水	377.27	12.06	253.57	21.03	82.94	0.71	0.94	0.04	3.09	0.66	76.54
西部富钾卤水	0.951	0.771	2.959	3.838	1.298	2.088	2.238	0.044	0.698	0.015	22.121
泻利盐沉积											

注: 据陈郁华 1983 年黄海水蒸发实验数据计算而得。

2.3 地球化学系数特点

该富钾卤水各项地球化学系数和海水各浓缩阶段系数,现统计列于表6。通过比较可发现富钾卤水的 $K \cdot 10^3/Cl$ 、 K/Br 、 $\frac{\text{e}(\text{Na}+\text{K})}{\text{e}Cl}$ 和 $B_2O_3 \cdot 10^3Cl$ 等系数值均远高于海水各浓缩阶段,而 $\frac{\text{e}Mg}{\text{e}Cl}$ 、 $SO_4 \cdot 10^2/Cl$ 等系数值则远低于海水各阶段。表明该卤水贫 Mg^{2+} 、贫 SO_4^{2-} ,而 K^+ 和 B_2O_3 具异常偏高的特点。此外卤水中的 $Br \cdot 10^3/Cl$ 、 $\frac{\text{e}Na}{\text{e}K}$ 系数值低于黄海水浓缩至相应矿化度的数值,而 Cl/Br 、 Ca/Sr 系数值高于相应矿化度的数值,反映了该卤水 Ca^{2+} 相对偏高,而 Br^- 却偏低。

3 富钾卤水成因分析

地下卤水成因通常有沉积和溶滤两大类型,有时尚有混合型和深源补给型。四川盆地西部富钾卤水为深层地下卤水,处于深埋封闭环境,不受现代大气降水渗滤影响,但在漫长的地史经历中,经受物理、化学、生物等各种作用的叠加影响,使其成因不会是单一的。现对该富钾卤水成因作一剖析。

3.1 卤水源于海成沉积水

富钾卤水储卤层系在区域内为中三叠统雷口坡组四段(T_2^{14})的一套海相碳酸盐岩和蒸发岩(硬石膏、石盐、杂卤石等均有沉积)组成的复杂韵律组合,是上扬子台地三叠纪海水最后西撤时于强烈蒸发环境形成的产物。储集于碳酸岩储层的卤水源于海成沉积水,而蒸发岩类的沉积表明原始沉积水已浓缩至相应的矿化度(已超过 $370g/L$)。据资料海洋水最有意义的是 $\frac{\text{e}Na}{\text{e}Cl}$ 和 Cl/Br 两对系数,它具有最大的稳定性。当 $\frac{\text{e}Na}{\text{e}Cl} \approx 0.87$ 、 $Cl/Br \approx 300$,卤水为正常海水衍生而来;当 $\frac{\text{e}Na}{\text{e}Cl} > 0.87-0.99$ 、 $Cl/Br = 1200-12000$ 或更大时,则卤水与岩盐溶滤有关。而该富钾卤水 $\frac{\text{e}Na}{\text{e}Cl} = 0.71$ 、 $Cl/Br = 82.94$,由此表明该卤水源于海成沉积水衍生而来(表7)。

表7 判别水的成因和变质作用强度采用系数的模式表

水 型	$\frac{\text{e}Na}{\text{e}Cl}$	Cl/Br
盆地西部富钾卤水	0.71	82.94
岩盐溶滤卤水	0.87—0.99	1200—12000
海成沉积水	≈ 0.87	≈ 300
沉积变质卤水	< 0.87	< 300

据汪蕴璞等、深层卤水形成问题及其研究方法,地质出版社,1982

3.2 卤水经受深度变质作用

沉积卤水中的 K^+ 、 Br^- 、 B^{3+} 、 Li 等组分是沉积水体中的稳定组分,它必受卤水浓缩发展和成岩后正向变质作用影响,随变质深度和矿化度的不断提高而增高。该富钾卤水与自贡地区黑卤比较可见,各稳定组分都有很大的提高,提高的比例在 $1.5-21.3$ 之间(表8),无疑该富钾卤水较自贡黑卤变质作用更深。

表8 四川盆地西部富钾卤水与自贡黑卤稳定组分对比(mg/L)

项 目	Br^-	I^-	B_2O_3	Li^+	K^+
四川盆地西部富钾卤水	2533	38.38	16079	89.8	53270
自贡地区黑卤	725±	16±	2300±	60±	2500±
增高比例	3.49	2.43	6.99	1.50	21.31

该卤水从表 7 得知, $\frac{\text{Na}}{\text{Cl}}=0.71, \text{Cl}/\text{Br}=82.94$, 分别远小于 0.87 和 300, 该两系数值越小, 海水变质作用愈强烈, 也反映了该卤水经受过深度变质作用。

3.3 卤水尚具钾盐溶滤特征

该富钾卤水中的各稳定组分, 虽较自贡黑卤增高比例为 1.50—6.99, 而唯有 K^+ 含量猛增, 增高比例达 21.31, K^+ 含量的异常增高, 显然尚不能单纯的用沉积变质也得圆满解释。它与海水各浓缩阶段卤水及与国外已知成因类型卤水水化学系数相比, 明显的具有钾盐溶滤特征。

3.3.1 卤水中 $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 和 K/Br 系数异常高, 而 $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 偏低, 与含钾盐类溶滤有关, 从海水浓缩阶段发展看出(表 6) $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 、 K/Br 和 $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 系数均不断增高, 但该卤水 $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 和 K/Br 两系数异常偏高, 而 $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 却偏低, 出现了不协调的现象。按卤水矿化度相当海水泻利盐析出阶段为例进行比较, $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 和 K/Br 分别增高 2.96 和 3.84 倍, 而 $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 仅为 0.77 倍(表 9)。需要指出的是海水浓缩析出氯化物盐类时, 溴并不形成独立的矿物, 而是以类质同像的形式进入氯化物晶格。由于溴在固液相的分配系数小于 1, 所以进入氯化物固相盐的溴总是要比留在溶液中的溴为少。由此分析该富钾卤水 $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 偏低, 而 $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 和 K/Br 异常偏高, 是与含钾盐类的溶滤密切相关。

表 9 四川盆地西部富钾卤水 $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 、 K/Br 、 $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 与海水泻利盐阶段盐阶段的比较

	矿化度(g/L)	$\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$	K/Br	$\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$	
四川盆地西部富钾卤水	377.27	253.57	21.03	12.06	
海水泻利盐沉积阶段	396.76	85.75	5.48	15.67	
比	例	0.95	2.96	3.84	0.77

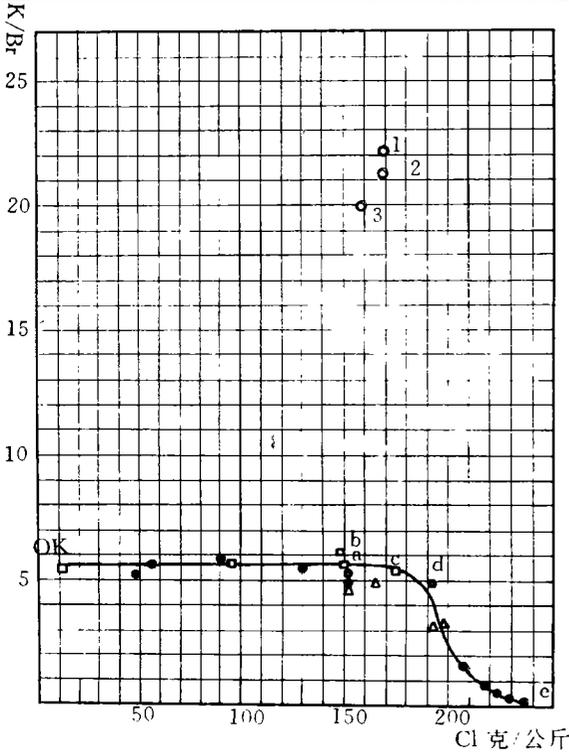


图 2 海水浓缩过程中钾溴系数值变化曲线
注: 1、2、3 为富钾卤水 K/Br 系数落点位置

另外我们将富钾卤水的 K/Br 系数投入海水浓缩的 K/Br 曲线图上可见, 其落点位置在曲线的上方, 并偏离曲线甚远(图 2)。据苏联 I、B 别尔丘科夫研究指出: “海水和海相卤水的 K/Br 系数沿 okabcde 曲线分布, 淋滤钾盐矿床的淋滤卤水分布在该曲线的上方”。由此该富钾水具钾盐溶滤特征, 进一步得到佐证。

3.3.2 卤水中 Rb^+ 的高异常是固相钾盐溶滤而来

该富钾卤水 Rb^+ 含量异常高, 达 37.5mg/L, 较海水早期钾镁盐阶段含量 0.11—7.0mg/L 显著增高(参见表 2)。 Rb^+ 和 K^+ 的离子半径相近(分别为 1.49 Å 和 1.33 Å), 地球化学习性相似。 Rb^+ 在自然界不形成独立的矿物, 而以类质同像方式置换 K^+ , 进入钾矿物晶格。因此卤水中 Rb^+ 的高异常与 K^+ 异常同步, 应是钾盐溶滤的结果, 标示了该卤水确与钾盐溶

滤有关。

3.3.3 卤水中 $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 、 Mg/Cl 、 Na/Cl 、 $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 和 K/Br 等系数与国外钾盐溶滤卤水接近

与国外已知成因类型卤水比较,该富钾卤水钾含量异常偏高外, $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 、 Mg/Cl 、 Na/Cl 、 $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 和 K/Br 等系数均明显与德国南哈茨及白俄罗斯斯塔罗期塔罗宾钾盐矿床溶滤卤水接近,而与俄罗斯上卡姆钾盐沉积卤水差异很大(表 10),反映了富钾卤水的溶滤色彩。

表 10 四川盆地西部富钾卤水与国外已知成因类型水化学系数对比表

水 型	矿化度 (g/L)	$\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$	Mg/Cl	Na/Cl	$\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$	K/Br	k(g/L)
四川盆地西部富钾卤水	377.27	12.06	0.04	0.71	253.57	21.03	53.27
钾盐溶滤水	南 哈 茨	0.4—6.62	0.006—0.2	0.53—0.97	24.4—294.6	44.5—61.42	3.87
	斯塔罗宾	379.50	8.8	0.48	0.43	147.0	16.70
上卡姆钾盐沉积水	310—418	22.7—67.6	0.76—0.88	0.09—0.16	63.8—117.0	1.3—2.0	16.36—30.53

综上所述该富钾卤水源于海成沉积水,但与自贡黑卤比较更具浓缩变质特征。其中 $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 、 K/Br 偏高,而 $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 偏低的不协调现象及与国外已知成因类型卤水比较,反映出钾盐溶滤的特征。因此该富钾卤水为沉积变质和钾盐溶滤的复合成因所致。反映了其盐系或邻区原始剖面或原始盐盆中应有含钾盐类沉积,是一个重要的找钾标志,值得重视和进一步探索。

4 富钾卤水形成机制分析

源于沉积水的富钾卤水,是在漫长的沉积、埋藏、成岩、溶滤等地质历史发展过程中逐步形成的。沉积水在长期深埋封闭环境中,无不经受高温、高压及水—岩相互影响的物理、化学和生物等作用,经历多次复杂的改造,使原始沉积水化学组成发生改变,朝着深度变质及高矿化方向发展,并最终演化形成富钾卤水。

4.1 沉积阶段决定了富钾卤水的基本性状

古沉积水通常埋藏在相应的沉积物中。鉴于古沉积水和沉积物处于统一的水—盐物理化学平衡体系,化学组成特征及浓度应大体与盐系蒸发岩类沉积层相应。因此 T_2^1 盐系蒸发岩类沉积是决定富钾卤水基本性状的重要历史阶段。该富钾卤水的浓度和化学组分与海水沉积阶段比较,已达到和超过泻利盐阶段,这与 T_2^1 盐系剖面所出现盐类的实际情况基本吻合(参见表 2)。

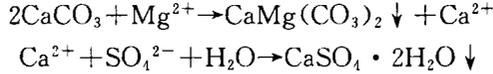
4.2 深埋、成岩阶段是富钾卤水演化形成的重要阶段

古沉积水随同其沉积物在被上部沉积层覆盖后,随上覆层厚度不断加厚,下部沉积物必然被压密并固结成岩。在长期深埋封闭条件下,一方面使古沉积水变质作用不断加深,对矿化度的增高和稳定组分的富集有着重要影响;另一方面沉积水被挤出,蒸发岩结晶水被脱出,而这部分释放出的水在运移到储层的过程中可能与盐层接触,将盐层 B 至钾盐层中的易溶组分溶滤而转移到沉积水体中,使原始沉积水的化学成分发生改造。特别是在深埋封闭的高温、高压

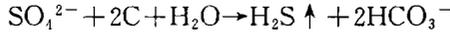
条件下, 导致 T_21^1 蒸发岩类的地热变质、脱水熔融, 加强了盐类的热融和水溶变质作用, 使可溶盐不断转入液相, 乃至可溶钾的带入, 使沉积水组成发生极大的改变, 浓度变大, 钾含量增高, 给富钾卤水的形成提供了条件。

4.3 沉积水与围岩的水—岩平衡作用, 使沉积水化学组成发生相应改变

盆地西部 T_21^1 盐系主要为石膏与白云岩的韵律互层, 白云岩具有明显的成岩白云岩的特征, 干化标志明显。沉积水与围岩的水—岩平衡作用, 则使沉积水组成发生相应改变, 最为明显的是碳酸盐岩广泛发育、白云岩化和石膏广泛沉积的脱 SO_4^{2-} 作用, 从而使沉积水体中 Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 的含量减少, 导致卤水贫 Mg^{2+} 、贫 SO_4^{2-} 特点, 其化学反应过程如下



鉴于储卤层处于有机质存在的强还原环境, 在脱硫细菌的触媒下, SO_4^{2-} 还可还原为 H_2S , 也可使沉积水体 SO_4^{2-} 含量大量减少。其化学反应为:



4.4 石膏的脱水熔融对富钾卤水形成产生巨大控制性影响

盆地西部成都 T_21^1 盐盆硬石膏广泛发育, 分布面积近 10000km^2 , 厚度 $10-400$ 余 m。据 J. H 范特霍夫实验资料: “石膏和硬石膏在 42°C 时共存, 高于此温度沉淀硬石膏, 在此温度以下沉淀出石膏”。而成都 T_21^1 盐盆硬石膏绝大部分源于潮上蒸发环境形成的石膏, 由于长期处于深埋条件, 在巨厚上覆层 ($3000-5000\text{m}$) 及高温、高压地热能的作用下 (按四川盆地地热增温计算, 地温至少到达 $80-120^\circ\text{C}$), 石膏发生脱水熔融转化成硬石膏。据 H·博歇特资料: “每 1m^3 石膏脱水形成硬石膏, 可释放出 0.486m^3 结晶水, 这一释放出的饱和 $CaSO_4$ 溶液在 30°C 温度下, 可完全溶解 0.08m^3 石盐或 0.54m^3 光卤石, 或把 0.81m^3 的光卤石变成钾石盐”。“如 $CaSO_4$ 溶液与钾石盐或光卤石反应, 又可形成无水钾镁矾, 在更强烈的溶液作用下, 到最后会将所有钾镁盐都溶解掉, 形成钾盐盆化区”。成都 T_21^1 盐盆硬石膏厚 $10-400$ 余 m, 其释放出的水量将是十分惊人和庞大的。可设想对可溶盐具有极强溶解能力的如此庞大水量, 在向储层转移时, 可导致盐系或盐盆中可溶盐类乃至钾盐的溶解, 必将对储层水进行改造, 产生巨大的控制性影响, 最终导致富钾卤水的形成。富钾卤水形成的综合模式可用图 3 示意。

5 富钾卤水资源意义

该富钾卤水矿化度 370g/L , 卤水中除 NaCl 浓度很高外, K^+ 含量异常高, 达 53.27g/L (折合 KCl 为 101.57g/L , KCl 重量百分含量为 8.22%), 不仅远高于青海察尔汉盐湖、西藏札布耶盐湖, 也远高于智利阿塔卡玛卤水及美国西尔盐湖水。并已远远超过工业品位, 也超过固体钾盐开采品位 (我国 1972 年颁发的《矿产工业要求参考手册》对固体钾盐的 KCl 品位要求是 6%), 成为当今世界上罕见的富钾卤水 (图 4)。该富钾卤水尚富含 Br^- 、 I^- 、 B^{3+} 、 Li^+ 等多种稀有组分, 其含量均超过或达到工业指标 (表 11)。其中 K^+ 、 B_2O_3 是综合利用工业品位的 25 倍以上, Br^- 为 7.44 倍, Li^+ 为 2.59 倍, 可见它不仅已构成液态钾矿资源, 并且为优质的化工原料水, 有极大的综合开发利用和经济价值, 具有重要资源意义。

卤水埋深 4000 余 m, 有较高承压, 可自溢于井口, 极有利于开发利用。当前应在该富钾卤水发现的基础上进一步踏堪其资源远景。通常四川盆地卤水在储卤层的聚集, 严格受背斜构造卷闭控制。于背斜构造核部、轴线附近及构造断裂裂缝发育带上往往是寻找卤水富集带的有利部位。鉴于地下卤水在运移过程中, 储集于天然容器内并富集, 而背斜构造是阻止其运移的主要遮挡物。具有不渗透盖层的一个背斜卷闭, 其容积是有限的, 因此地下卤水在运移中, 最终

表 11 四川盆地西部富钾卤水与综合利用工业品位对比表

项 目	化合物(g/L)		有 用 元 素 组 分 (mg/L)		
	B ₂ O ₃	K ⁺	Br ⁻	I ⁻	Li ⁺
四川盆地西部富钾卤水	16.079	53270	2533	38.38	89.80
工 业 品 位	0.400	1500	300	20	25
增 高 倍 数	39.20	25.51	7.44	0.92	2.59

导致在相邻的多个构造中聚集,可见当某一背斜构造发现富钾卤水时,其周围的一连串背斜构造同样有找到富钾卤水的可能性,这在四川盆地卤气勘查中已有无数例证。因此成都 T₂1⁴ 盐盆对富钾卤水具有良好的找矿前景。

6 固体钾盐找矿指示意义

前所叙及富钾卤水具高钾、高铷等特点,它与国外已知钾盐溶滤卤水的水化学特征系数接近,标志了该卤水具有钾盐溶滤的特点。这对寻找固体钾盐有重要指示意义。这一认识必将有益于四川盆地西部的固态找钾工作。成都 T₂1⁴ 盐盆是四川盆地三叠世海水最后向西撤退时残留海水汇聚最终蒸发形成的含盐盆地,不仅盐盆地规模较大,成盐卤水浓度较高,已有较厚石盐沉积外,并有多层杂卤石、红石盐分布及 MgSO₄ 矿物发现。可见成都 T₂1⁴ 盐盆有进一步发现富钾卤水和固体钾盐可能的地质条件,值得重视和进一步探索。然而在具体工作中,应把固液态找钾工作结合起来,将更有利获得找钾工作的实际效果。

7 结语

(1)按富钾卤水的高 K⁺、高 Rb⁺和 Br⁻赋存特点等分析,其成因为沉积变质和钾盐溶滤的复合成因。

(2)从卤水 K⁺含量之高分析,无论是沉积或溶滤成因,均反映卤水已到达钾盐析出阶段,原始沉积中应有钾盐存在。

(3)富钾卤水已构成液态钾盐资源,并对寻找固体钾盐有重要指示意义。

(4)卤水中富含多种稀有组分,是可供综合回收利用的优质化工原料水,经济价值极高。

(5)随着我国农业的发展,对钾肥的需求将逐年猛增,若能进一步扩大富钾卤水资源,加强四川盆地固液态找钾工作和卤水有益组分回收利用的研究,必将为我国农业提供优质钾肥资源和优质化工原料水,为我国经济发展作出贡献。

参 考 文 献

- [1] H. 博歇特. 盐类矿床. 北京:地质出版社,1976,100
[2] 韩蔚田等. 盐类沉积地热变质作用的物理化学分析. 地质科学,181(3). 223
[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] 陈郁华. 黄海水 25℃恒温蒸发时的析盐序列及某些微量元素的分布规律. 地质学报. 1994,1983(4): 379—390

Hydrogeochemical Features of K—Rich Brine And Its Genetic Significance in West Sichuan Basin

Lin Yaoting

(No. 2 Geological Party of the Southwest China Bureau of
Petroleum Geology, Zigong 643013)

Yan Yangji

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources,
Chinese Academy of Geological Sciences, Chengdu 610082)

ABSTRACT

The K—rich brine in west sichuan basin, as deep brine at a depth of more than 400m, is hosted by the evaporite—bearing carbonate reservoir in the 4 th Member of Leikoupo Formation of Middle Triassic (L_2L^1). It is high—quality water of insustrial chemicals. The content of k^+ in the K—rich brine, consisting of liquid potash mineral resources, is exceedingly high compared with the sea water in the different concentration stages, and the Br^- , I^- , B^{3+} , Li^+ and others in it exceed the comprehensive utilization pay grade. The K—rich brine is caused by metagenesis and dissolution olution of the early—formed potassium minerals, having the signhfeacnce for searching for solid and liquid potash mineral resources. This paper provides valuable leads for searching Sichuan basin for boath solid and liquid potash mineral resources.

Key words: Hydrogeochemistry, Paleosedimentary water, Metamorphic evolution, Dissolution of potassium minerals, K—rich brtine, Industrial chemicals water, Sichuan basin.