

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

林耀庭

颜仰基 吴应林

(西南石油地质局第二地质大队)

(成都地质矿产研究所)

[内容提要] 四川盆地某地富矿卤水以深层卤水形式赋存于地下4000余米深的中三叠统雷口坡组四段(T_2l^4)盐系的碳酸盐岩储层中。富矿卤水与海水各浓缩阶段相比,其中 K^+ 含量异常高,构成世界罕见的液态钾盐资源; Br^- 、 I^- 、 B^{3+} 、 Li^+ 等有用组分也远远超过综合利用工业品位,为优质化工原料水。富矿卤水为沉积变质和钾盐溶滤的复合成因,具有资源及固液态钾盐找矿的指示意义。本文为四川某地固液态找钾提供了有价值的线索。

关键词: 水文地球化学 沉积变质 钾盐溶滤 富矿卤水 四川盆地

四川盆地卤水星罗棋布,开发历史悠久,早为中、外学者所瞩目。近年来,随着四川盆地盐卤气勘查开发的深入,各地又不断发现富矿卤水,特别是最近在盆地某地发现的富矿卤水,品质特别优异,其 K^+ 、 B^{3+} 等有用组分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盐资源。本文拟对该富矿卤水水文地球化学特征、卤水成因、资源及固液态找钾意义进行探讨,以利促进四川盆地某地富矿卤水勘查开发和理论研究的不断深入及找钾工作的发展。

1 地质及水文地质背景

四川盆地某地富矿卤水产于成都盐盆内中三叠世雷口坡组第四段(T_2l^4)。该盐盆随着中三叠世上扬子台地开江-泸州隆起带的不断上升扩大,成为四川盆地中三叠世海水向西撤退时形成的最后一个成盐盆地,面积约万余平方公里。盐盆地蒸发盐发育,含盐系为一套硬石膏、菱镁质白云岩和石盐的频繁交替沉积,厚度达500余米,中上部夹有多层杂卤石和红石盐,并有少量硫镁矾分布。石盐层累积厚度约120余米, $Br \cdot 10^3/Cl$ 为 $0.4 \pm$,是四川盆地三叠纪成盐找钾远景最大的含盐盆地之一(图1)。富矿卤水赋存于深埋地下4000余米的雷四段(T_2l^4)白云岩储层中,有多个碳酸盐岩溶-裂隙储卤层显示。储卤层富水性良好,卤水可自溢于井口,涌水量较大,卤层及井口压力分别达到 $600kg/cm^2$ 和 $100kg/cm^2$ 以上,日产卤量大于数百立方米。在自然界条件下,卤水富集在局部背斜构造的核部及断裂发育带上,当

处于深埋封闭条件下的富矿卤水,在受地静压力驱动下,测压水头很高,弹性储量极大。

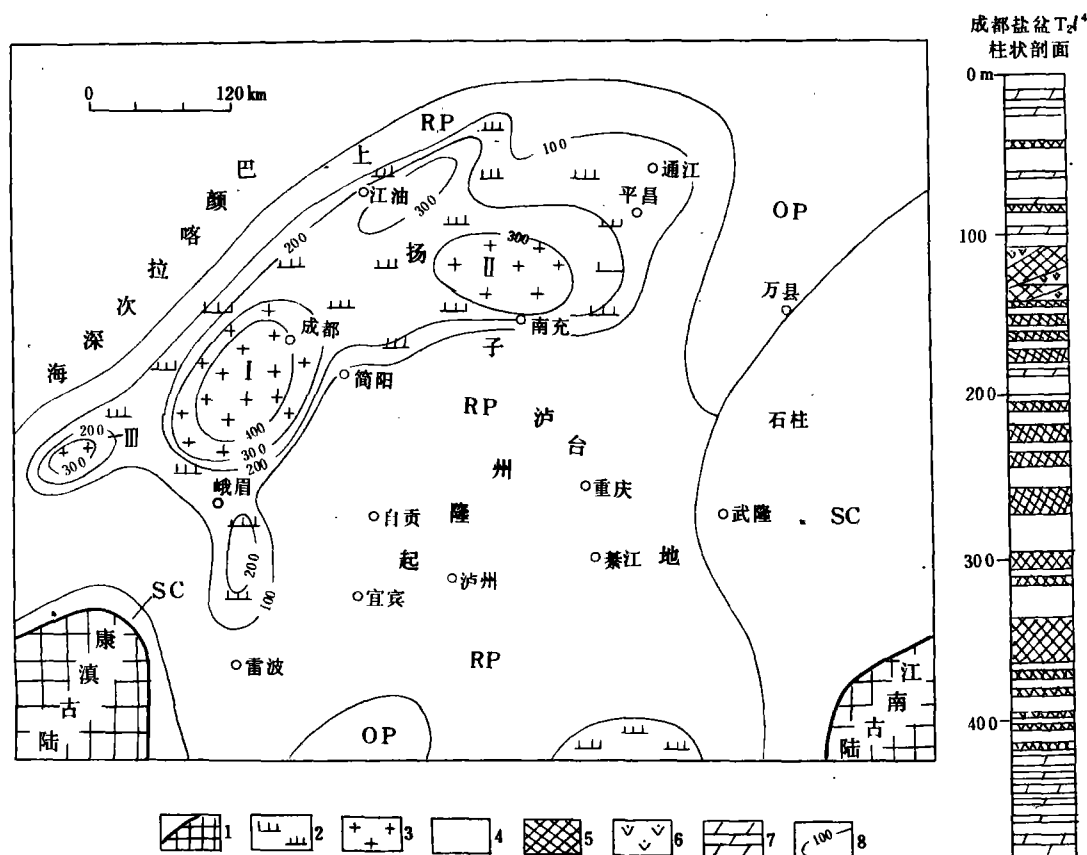


图1 上扬子台地中三叠世雷口坡组四段(T_2^4)岩相古地理略图

1. 古陆; 2. 石膏盆地; 3. 石盐盆地; 4. 硬石膏岩; 5. 石盐岩;
6. 杂卤石岩; 7. 白云岩; 8. 地层厚度等值线;

I. 成都盐盆地; II. 南充盐盆地; III. 盐源盐盆地(对该盆地位置进行了构造恢复);

SC. 滨岸碎屑平原; RP. 局限海(碳酸盐)台地; OP. 开阔海(碳酸盐)台地

Fig. 1 Sedimentary facies and palaeogeographic map of the fourth member of the Middle Triassic Leikoupo Formation on the Upper Yangtze platform

1=old land; 2=gypsum basin; 3=halite basin; 4=anhydrite; 5=halite rock; 6=polyhalite rock; 7=dolomite; 8=isopachous map of the strata; I=Chengdu halite basin; II=Nanchong halite basin; III=Yanyuan halite basin (tectonically restored); SC=siliciclastic coastal plain; RP=restricted marine (carbonate) platform; OP=open marine (carbonate) platform

2 富矿卤水水文地球化学特征

2.1 水化学组成

卤水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。

富矿卤水已采集若干次不同时期的卤水样品,经有关单位分析检验,卤水各组分无有大

的波动和变化,品质稳定,其矿化度平均为 377. 27g/L,并富含 K^+ 、 Br^- 、 I^- 、 B^{3+} 、 Li^+ 等多种有用组分,详见表 1。

表 1 四川盆地某地富矿卤水化学组分表 (单位 g/L)

Table 1 Chemical compositions of the high-grade brine in the Sichuan Basin (in g/L)

阳 离 子 组 分							
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							
Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Br^-	I^-	B_2O_3	矿化度	B_2O_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

陈郁华(1983)^[1]对我国黄海水作过 25℃恒温蒸发的析盐系列及某些微量元素分布规律的研究,现将本区富矿卤水化学组成与黄海水蒸发资料进行对比(表 2),可明显的看出有如下一些特点。

(1)按富矿卤水的矿化度和 Br^- 含量,仅相当黄海水的泻利盐析出阶段,但其 K^+ 含量异常高,达 53. 27g/L,远远高于海水各浓缩阶段的 K^+ 含量。在正常海水各蒸发阶段中,即便是钾盐沉积阶段,都不应出现如此之高的 K^+ 含量。

(2)随海水浓缩阶段的发展,在光卤石沉积阶段之前, K^+ 和 Br^- 含量应对应增高,但该富矿卤水两者对应并不协调。如与海水钾盐沉积阶段相比,富钾卤水 K^+ 含量增高 2. 131 倍,而 Br^- 仅为 0. 444 倍(表 3)。

(3) I^- 、 B^{3+} 、 Li^+ 及 Rb^+ 等组分随海水浓缩阶段的发展不断增高,其最高含量分别为 0. 4mg/L、1077. 83mg/L、45. 24mg/L 和 7mg/L。而富矿卤水与之比较均显著增高,增高比例分别为 95. 95、4. 64、1. 99 和 5. 36(表 4)。可见该富矿卤水较海水各浓缩阶段更富含 I^- 、 B^{3+} 、 Li^+ 、 Rb^+ 等有用组分。

表 4 富矿卤水有用组分与海水最高含量比较(单位 mg/L)

Table 4 Comparison of useful components in the high-grade brine with those in sea water (in mg/L)

项 目	I^-	B^{3+}	Li^+	Rb^+
某地富矿卤水	38. 38	4994. 00	89. 80	37. 50
海水中最高含量	0. 4*	1077. 83	45. 24	7. 00
增 高 比 例	95. 95	4. 64	1. 98	5. 36

* I^- 系根据中国地质大学(北京)李亚文、韩蔚田南海海水蒸发资料

(4) Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 含量随海水浓缩阶段发展,基本上也相应地增高。但该富矿卤水的 Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 含量还不及海水碳酸盐沉积阶段的含量,明显的偏低,表现为贫镁、贫硫酸根的特点。而富矿卤水中的 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 含量却高于海水各沉积阶段(表 5)。

表 3 四川盆地某地富矿卤水 K^+ 、 Br^- 量与海水比较
Table 3 Comparison of K^+ and Br^- contents in the high-grade brine from the Sichuan Basin with those in sea water

项 目		K^+ (g/L)	Br^- (g/L)
海水	四川盆地某地富矿卤水	53.267	2.533
	泻利盐沉积阶段	16.200	2.959
	钾石盐沉积阶段	25.000	5.691
富矿卤水/泻利盐阶段		3.288	0.856
富矿卤水/钾石盐阶段		2.131	0.444

表 2 四川盆地某地富矿卤水与黄海海水各浓缩阶段水化学组成对比表

Table 2 Comparison of chemical compositions of the high-grade brine in the Sichuan Basin with those of sea water in the Yellow Sea in different stages																	
浓缩阶段	比重	矿化度 (g/L)	常量组分 (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 ⁺	
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	7.80	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	
石 开始	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 沉积	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 开始	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	
盐 沉积	1.2186	332.85	9.00	99.58	0.47	13.84	0.13	20.25	187.89	749.00	0.017	1.85	1.35	59.85	51.25	0.165	
泻 开始	1.2297	340.95	14.50	82.82	0.29	22.66	0.07	32.35	183.59	1178.50		3.00	2.70	56.33	107.50	0.346	
利 盐 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	1.3692	532.34	1.14	1.77	0.10	129.02	/	43.10	339.18	10504.70	0.40	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	/	50.40	334.91	11614.20		45.24	未见	未见	1077.83	3.470	
四川盆地某地富矿卤水	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	
富矿卤水 比值 泻利盐沉积	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	

注: 黄海水系根据陈郁华 1983 年蒸发实验资料^[1], 其中 I⁻ 组分系根据李亚文、韩蔚田的南海海水蒸发资料

表5 富矿卤水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 含量与海水文石阶段比较(单位 g/L)
Table 5 Comparison of Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} and HCO_3^- contents in the high-grade brine with those of sea water in the aragonite stage (in g/L)

项 目	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	HCO_3^-
富矿卤水	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

从上述对比可见,富矿卤水的化学组成与海水存在明显的差异。归纳起来,富矿卤水具有高矿化度、富钾、富硼和富含碘、锂、铷等组分及贫镁、贫硫酸根以及钙、重碳酸根偏高等特点。充分表明该富矿卤水与咸化海水迥然不同,它并非单纯的由古海水浓缩形成。

2.3 水文地球化学特征系数

富矿卤水的地球化学特征系数及海水各沉积阶段的系数值,经计算列于表6。两者比较可发现,富矿卤水中的 $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 、 K/Br 、 $n(\text{Na}+\text{k})/n\text{Cl}$ 和 $\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10^3/\text{Cl}$ 等特征系数均远高于海水各浓缩阶段,而 $n\text{Mg}/n\text{Cl}$ 、 $\text{SO}_4 \cdot 10^2/\text{Cl}$ 等系数则远低于海水各浓缩阶段,也反映该卤水贫镁、贫硫酸根,而钾和硼具异常偏高的特点。此外,富矿卤水中的 $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 、 $n\text{Na}/n\text{K}$ 系数低于黄海水浓缩至相应泻利盐沉积的数值,而 Cl/Br 、 Ca/Sr 系数高于相应矿化度的数值,反映了该卤水钙相对偏高,而溴却相对偏低的特点。

表6 四川盆地某地富矿卤水与黄海水各浓缩阶段水文地球化学特征系数对比表
Table 6 Comparison of hydrogeochemical coefficients for the high-grade brine in the Sichuan Basin with those for sea water from the Yellow Sea in different concentration stages

浓缩阶段	矿化度 (g/L)	$\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$	$\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$	K/Cl	K/Br	Cl/Br	$n\text{Na}/n\text{Cl}$	$n(\text{Na}+\text{K})/n\text{Cl}$	$n(\frac{1}{2}\text{Mg})/n\text{K}$	$\text{SO}_4 \cdot 10^2/\text{Cl}$	$\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10^3/\text{Cl}$
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
青 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	0.817
泻 开始	340.95	6.41	78.98	12.31	155.85	0.69	0.76	0.36	9.71	17.60	1.88
利											
盐 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	0.117	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
富矿卤水	377.27	12.06	253.57	21.03	82.94	0.71	0.94	0.04	3.09	0.66	76.54
比值 富矿卤水/泻利盐沉积	0.951	0.771	2.959	3.838	1.298	2.088	2.238	0.044	0.698	0.015	22.12

注:据陈郁华(1983)^[1]黄海水蒸发实验数据计算所得

3 富矿卤水成因分析

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。四川盆地某

地富矿卤水为深层地下卤水,处于深埋封闭条件,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。现对该富矿卤水成因作一剖析。

3.1 卤水源于海成沉积水

富矿卤水储卤层系在区域内为中三叠统雷口坡组四段(T₂l⁴)的一套海相碳酸盐岩和蒸发岩(含硬石膏、石盐、杂卤石等岩类)组成的复杂韵律组合,它是上扬子台地早、中三叠世海水最后向西撤退时,于凹陷内强烈蒸发形成的产物。储集于碳酸盐岩储层的卤水源于海成沉积水,而蒸发盐的沉积表明原始沉积水已浓缩至泻利盐阶段,其矿化度超过 370g/L。据资料,海洋水最有意义的是 nNa/nCl 和 Cl/Br 两对系数具有最大的稳定性。当 nNa/nCl≈0.87、Cl/Br≈300 时,卤水为正常海水衍生而来;当 nNa/nCl>0.86-0.99,Cl/Br>1200-12000 或更大时,则卤水与岩盐溶滤有关。而该富矿卤水 nNa/nCl 为 0.17,Cl/Br 为 82.94,由此表明该卤水为沉积变质卤水,源于海成沉积水衍生而来(表 7)。

3.2 卤水经受深度变质作用

沉积卤水中的 K⁺、Br⁻、B³⁺、Li⁺ 等组分是沉积水体中的稳定组分,它必受沉积水浓缩发展和成岩后正向变质作用影响,随矿化度和变质深度的不断提高而增高。该富矿卤水与自贡地区黑卤相比,可见各稳定组分都有很大的提高,增高比例在 1.5—21.3 之间(表 8),无疑该高矿卤水较自贡黑卤变质作用更为强烈。

前已述及,该富矿卤水 nNa/nCl 为 0.71,Cl/Br 为 82.94,分别远小于 0.87 和 300。该两系数值越小,显示海水变质作用越强烈,这也充分反映了该富矿卤水经历深度变质作用。

3.3 卤水具溶滤钾盐特征

富矿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 K⁺ 含量增高比例达 21.31,与国外已知成因类型卤水水化学特征系数相比,具有明显的钾盐溶滤特征。

3.3.1 卤水中 K · 10³/Cl 和 K/Br 特征系数异常高,而 Br · 10³/Cl 偏低,系与含钾盐类溶滤有关

K · 10³/Cl、K/Br 和 Br · 10³/Cl 系数随海水浓缩阶段发展均不断增高(参见表 6),但该富矿卤水 K · 10³/Cl 和 K/Br 两系数异常偏高,而 Br · 10³/Cl 却偏低,出现了极不协调的现象。按卤水矿化度相当海水泻利盐浓缩阶段为例进行比较,富矿卤水中的 K · 10³/Cl 和 K/Br 系数分别增高 2.96 和 3.84 倍,而 Br · 10³/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(比值)小于 1,所以进入固相氯化物盐的溴总是要比留在溶液中

表 7 判别卤水成因和变质强度的系数模式表

Tabel 7 Model table of the coefficients for recognition of brine genesis and metamorphism intensity

水 型	nNa/nCl	Cl/Br
盆地某地富矿卤水	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(1982)^[2]

表 8 富矿卤水与自贡黑卤稳定组分含量对比表(mg/L)

Table 8 Comparison of stable component contents in the high-grade brine with those in black brines from Zigong, Sichuan (in g/L)

项 目	Br ⁻	I ⁻	B ₂ O ₃	Li ⁺	K ⁺
某地富矿卤水	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

的溴为少。由此分析该富矿卤水 $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 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 富矿卤水的 $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 、 K/Br 、 $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 与海水泻利盐阶段比较

Table 9 Comparison of $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 、 K/Br and $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ for the high-grade brine with those for sea water in the epsomite stage

项 目	矿化度(g/L)	$\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$	K/Br	$\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$
富矿卤水	377.27	253.57	21.03	12.06
海水泻利盐沉积阶段	396.76	85.70	5.48	15.67
比 例	0.95	2.96	3.84	0.77

若将富矿卤水的 $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 和 K/Br 系数投到海水浓缩过程的 $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 和 K/Br 曲线图上(图 2),可见其落点位置均偏离上述两曲线甚远,而落在曲线上方淋滤卤水分布区,反映出该富矿卤水具有固相钾盐溶滤特征。

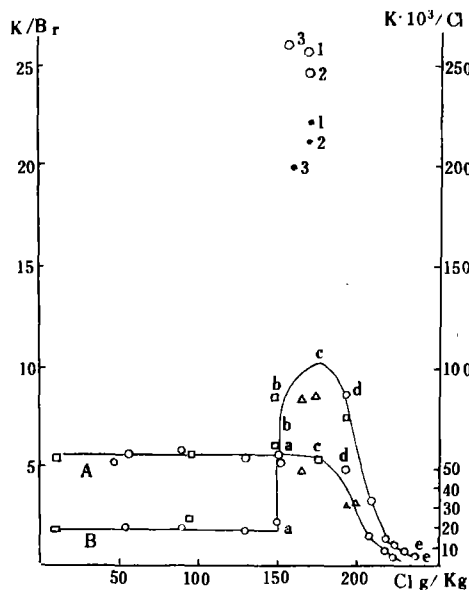


图 2 海水浓缩过程中钾氯系数及钾溴系数变化曲线

注: (1) 曲线 A 和 B 分别为海水浓缩过程中 K/Br 系数和 $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 系数曲线(据: 普查钾盐矿床的地球化学方法, 陈郁华译,《国外钾盐矿床普查资料(专辑)》,地质科学院情报所编译,1972 年, P. 39—40 图 17 及图 18); (2) 投影点 $\circ$ 和 $\bullet$ 分别为样品 1—3 的 K/Br 系数和 $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 系数

Fig. 2 Curves showing the variations in the K/Cl and K/Br coefficients for sea water in the concentration stages Note that (1) Curves A and B represent the curves for K/Br and $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ coefficients, respectively, and (2) the projected points $\circ$ and $\bullet$ represent the K/Br and $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ coefficients for samples Nos. 1—3

3.3.2 富矿卤水中 Rb^+ 的高异常是固相钾盐溶滤而来

富矿卤水 Rb^+ 含量异常高, 达 37.5mg/L , 较海水早期钾镁盐阶段含量 $0.11\text{—}7.0\text{mg/L}$ 显著增高(参见表 2)。 Rb^+ 和 K^+ 的离子半径相近, 分别为 $1.49\text{\AA}$ 和 $1.33\text{\AA}$, 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^+ , 进入钾盐矿物晶格。因此卤水中 Rb^+ 的高异常与 K^+ 的高异常同步, 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 富矿卤水中 $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 、 $n(\frac{1}{2}\text{Mg})/n\text{Cl}$ 、 $n\text{Na}/\text{Cl}$ 、 $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 和 K/Br 等系数与国外某些钾盐矿溶滤卤水接近

与国外已知成因类型卤水比较, 富矿卤水 K^+ 异常偏高, $\text{Br} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 、 $n(\frac{1}{2}\text{Mg})/\text{Cl}$ 、 $n\text{Na}/\text{Cl}$ 、 $\text{K} \cdot 10^3/\text{Cl}$ 和 K/Br 等系数均明显的与德国南哈茨及白俄罗斯斯塔罗宾钾盐矿床的溶滤卤水接近, 而与俄罗斯上卡姆钾盐沉积卤水差异很大(表 10), 反映了富矿卤水的溶

滤色彩。

表 10 富矿卤水与国外已知成因类型卤水水化学特征系数对比表

Table 10 Comparison of hydrogeochemical coefficients for the high-grade brine with those for the brines of different origins abroad

水 型	矿化度 (g/L)	$\text{Br} \cdot 10^3 / \text{Cl}$	$n(\frac{1}{2}\text{Mg}) / n\text{Cl}$	$n\text{Na} / n\text{Cl}$	$\text{K} \cdot 10^3 / \text{Cl}$	K / Br	$\text{K}(\text{g/L})$
四川某地富矿卤水	377.27	12.06	0.04	0.71	253.57	21.03	53.27
钾盐溶滤卤水							
南哈茨	324.00	0.4—6.62	0.006—0.2	0.53—0.97	24.4—294.6	44.5—61.4	3.87
斯塔罗宾	379.50	8.8	0.48	0.43	147.00	16.7	17.37
上卡姆钾盐沉积卤水	310—418	22.7—67.6	0.77—0.88	0.09—0.16	63.8—117.0	1.3—2.0	16.36—30.53

综合上述,该富矿卤水为沉积变质和钾盐溶滤复合成因,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,它是一个重要的找钾标志,值得重视和进一步探索。

4 富矿卤水形成机制分析

源于沉积水的富矿卤水,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演化形成的。沉积水在长期处于深埋封闭环境中,无不经受高温、高压及水-盐相互影响的物理、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,并最终演化形成富矿卤水。

4.1 沉积阶段决定了富矿卤水的基本性态

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,其中化学组成特征及浓度应大体与盐系蒸发盐类沉积层相当。该富矿卤水的浓度和化学组分与咸化海水沉积阶段比较,已达到或超过泻利盐阶段,这与 T_2I^4 盐系剖面所见盐类的实际情况基本吻合(参见表 2)。

4.2 深埋、成岩阶段是富矿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,随上覆层厚度的不断增加,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,对卤水矿化度的提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,地热变质作用^[3]发生蒸发盐结晶水脱出,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,将盐层乃至钾盐层中的易溶组分溶滤而转移到沉积水体中,使沉积水组成发生极大的改变。其主要变化是:卤水矿化度增高,随矿化度增高其稳定组分,如 Cl^- 、 Br^- 、 Na^+ 、 K^+ 等元素,亦相应增高,但 K^+ 大大高于其它组分;其非稳定组分,如 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 显著降低,而 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 的趋势却相反。卤水的这种演化系与储卤层和围岩发生水-盐作用形成石膏与菱镁矿,及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,发生去 SO_4^{2-} 作用有关。

4.3 石膏的脱水熔融对富矿卤水形成产生巨大控制性影响

成都 T_2I^4 盐盆硬石膏广泛发育,分布面积约万余平方公里,厚度 10—400 余米。据 J·H 范特霍夫资料:“石膏和硬石膏在 42℃ 时共存,高于此温度沉淀硬石膏,低于此温度沉淀出石膏。”而成都 T_2I^4 盐盆硬石膏极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—5000m)及高温、高压地热能的作用下(按四川盆地地热增温计算,地温至少为 80℃—120℃),石膏发生脱水熔融转化成硬石膏。据 H·博歇特^[4]资料:

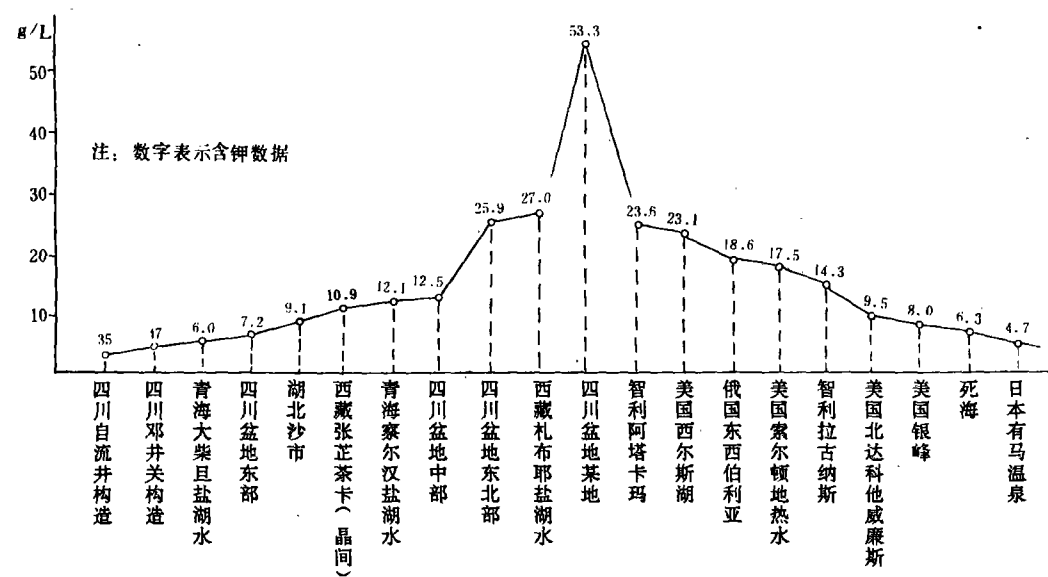


图 4 四川盆地某地富矿卤水与国内外含钾卤水含钾量对比图
(其它卤水数据引自黄师强^[5]和杨立中^[6])

Fig. 4 Correlation of K contents in the high-grade brine from the Sichuan Basin with those in other K-bearing brines at home and abroad (for the latter after Huang Shiqiang and Yang Lizhong)

Table 11 Comparison of useful components with pay grades for utilization comprehensive of the high-grade brine in the study area

项 目	化合物(g/L)	有 用 组 分 (mg/L)			
	B ₂ O ₃	K ⁺	Br ⁻	I ⁻	Li ⁺
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

富矿卤水深埋地下深处 4000 余米,有较高承压的水柱高度,可自溢于井口,流量较大,极有利于开发利用。当前应在该富矿卤水发现的基础上进一步扩大其资源远景,由于该矿严格受背斜圈闭构造控制,因此于背斜构造核部、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。具有不透盖层的一个背斜圈闭其容积是有限的,因此地下卤水在运移中最终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矿卤水时,其周围的一连串背斜构造同样有找到富矿卤水的可能性,这在四川盆地卤气勘查中已有无数例证。因此该富矿卤水尚有进一步扩大找卤的前景。

4.5 固态钾盐找矿的指示意义

前已述及,富矿卤水具有高钾、高铷等特点,其水化学特征系数与国外已知钾盐溶滤卤水接近,标示了该卤水具有钾盐溶滤特点,这对寻找固态钾盐有重要指示意义。这一认识必将有益于成都 T₂l⁴ 盐盆的固态找钾工作。成都 T₂l⁴ 盐盆是四川盆地中三叠世海水最后向西撤退时残留海水汇聚凹陷而最终蒸发形成的含盐盆地,不仅盐盆规模较大,成盐卤水浓度较高,除已发现有厚大石盐层外,并有多层杂卤石、红石盐分布,以及硫镁矾团块。可见成都

T_2l^4 盐盆有进一步寻找富矿卤水和固态钾盐可能的地质找矿前景,值得重视和进一步探索。但在具体工作实践中,应把固液态找钾工作紧密的结合起来,这将更有利获得找钾工作的实质性效果。

综上所述,四川盆地某地富矿卤水是世界罕见的液态钾盐资源,又是优质的化工原料水,具有极高的经济价值。大力加强富矿卤水的勘查开发及有用组分的综合回收利用,不仅可弥补我国钾盐资源短缺,为农业提供优质钾肥,同时可为国家提供多种紧缺的化工原料,发挥出重大的社会效益和经济效益。建议有关部门和领导重视该富矿卤水的勘查开发力度,加快步伐,尽早产生经济效益。

参 考 文 献

- 1 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, 1983(4), 379—390
- 2 汪瑾璞、王焕夫. 深层卤水形成问题及研究方法. 北京: 地质出版社, 1982, 68—69
- 3 韩蔚田、蔡克勤. 盐类沉积地热变质作用的物理化学分析. 地质科学, 1981(3), 223—231
- 4 H·博歇特. 盐类矿床. 北京: 地质出版社, 1976, 100
- 5 黄师强. 论卤水提锂. 海盐与化工, 1993, 第 3 期, 15—19
- 6 杨立中. 论四川盆地地下卤水资源开发利用的现状及对策. 四川地质学报, 1992, 第 12 卷, 第 3 期

HIGH-GRADE BRINE IN THE SICHUAN BASIN: HYDROGEOCHEMISTRY, ORIGIN AND ITS RESOURCE SIGNIFICANCE

Lin Yaoting

No. 2 Geological Party, Southwest China Bureau of Petroleum Geology

Yan Yangji

Wu Yinglin

Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS

ABSTRACT

The high-grade brine recognized somewhere in the Sichuan Basin are hosted in the evaporite-bearing carbonate reservoirs in the fourth member of the Middle Triassic Leikoupo Formation (T_2l^4), more than 4,000 m below the surface. The findings of the study suggest that the brines as the rare liquid potash resources and high-grade commercial minerals not only contain extremely large amount of potassium, as compared with those in different concentration stages of sea water, but also have much higher contents of Br, I, B and Li than the pay grades for comprehensive utilization. The brine originated from the metagenesis and dissolution of potash minerals indicate the possibility in the search for solid and liquid potash in the Sichuan Basin.

Key words: hydrogeochemistry, metagenesis, dissolution of potash minerals, high-grade brine, Sichuan Basin