

四川盆地寒武系盐卤沉积特征及找钾前景

林耀庭

(西南石油局第二地质大队, 四川 成都 611844)

摘 要:四川盆地寒武系盐卤资源开发历史悠久, 而固矿石盐层乃是 20 世纪 80 年代后期从油气探井中才发现的, 它为我国卤化物矿物增添了一个新的成盐地质年代, 与同时也极大的改变了华南寒武系古地理面貌, 为我国盐砂勘查及找钾预测提供了新的资料。然而至今四川盆地寒武纪盐类工作程度仍然有限, 就现有少量资料对四川盆地寒武系成盐古地理背景、盐系沉积剖面特征、石盐矿物特征及盐卤水化学特征等方面作一概略简介和论述。

关键词:成盐古地理; 盐系沉积特征; 找钾前景; 寒武系; 四川盆地

中图分类号: P619.211

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2009)02-0013-08

0 引 言

寒武纪是四川盆地重要的成盐地质年代之一。盐卤资源的开发有着悠久历史。据记载彭水郁山镇寒武系盐卤水开发已有 600 余年历史; 大巴山城口、巫溪一带相传明清就有熬盐的记录, 至今仍用卤水熬盐制碱^[1]。建国后, 随着建设事业的发展, 油气探井相继于城口、中坝、天星桥一带发现寒武系盐卤水, 陆续为当地提供盐卤水资源开发已近 40 年, 但寒武系并无固体石盐的记载, 直至 1989 年石油部门先后在泸县、永川、江津、邻水等地的油气探井中于中、下寒武系发现石盐层。四川由此成为我国首例发现寒武系石盐的地区, 填补了我国寒武纪成盐的空白。这为分析我国南方寒武系的沉积环境, 为钾盐普查预测提供了新的依据和资料。本文仅根据已有资料, 就寒武系石盐产出的地质特征、矿物及化学特征、盐卤水分布及水化学特征, 对四川盆地寒武系找钾前景进行分析讨论, 以期引起大家的关注, 创造条件, 继续工作, 深化认识。

1 成盐的古地理背景及沉积概况

四川盆地位于上扬子台地的西北隅。寒武纪上扬子台地在古老基底构造控制下, 承袭了震旦纪古构造、古地理格局而开始其发展演化过程, 台地西侧为强烈活动的康滇古陆, 南有牛首山岛陆, 是主要陆源物的供给区; 北为汉中岛陆, 东南方为江南岛陆和相对隆起的生物礁(滩)带作为屏障, 其间是广阔的台盆海域, 具有一定的封闭性, 在干旱气候条件配合下, 有利于蒸发作用进行, 形成由台盆边缘向盆内指示海水咸化程度递次增高的岩相分带(图 1)。并由于受北东平行延展的万源宜宾深断裂和建南彭水深断裂的控制, 成盐盆地则在其间作狭长状展布。

盆地寒武系的沉积, 为一套海相碎屑岩、碳酸盐岩及少量蒸发岩组合, 总体经历了从盆地炭质泥岩相→台地碳酸盐相→泻湖—盐湖蒸发岩相的沉积演化过程(图 2)。在寒武系下统的清虚洞组(C₁q)和中统的石冷水组(C₂s)地层中, 发育了有较好的海退沉积序列, 形成了蒸发

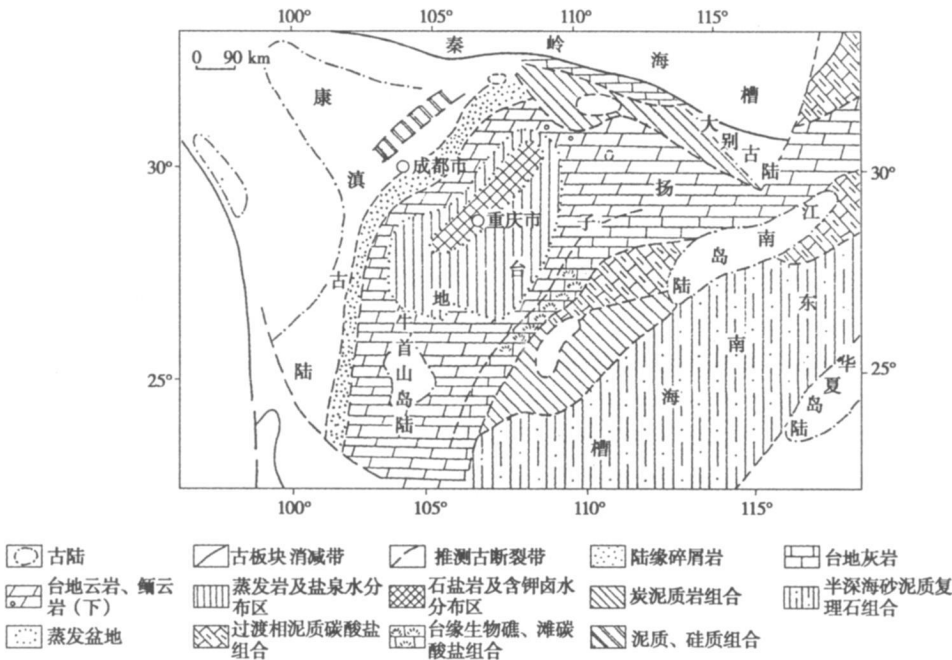


图 1 四川盆地及华南早、中寒武世古地理略图
Fig 1 Geological sketch map of early middle Cambrian in Sichuan basin and south China

岩,有厚大的石盐层分布。1)下寒武统清虚洞组(C_2q)盐盆分布。清虚洞组成盐盆地主要展布于万县—泸州一带,其长约 500 km,宽 120 km 左右,面积约 $6 \times 10^4 \text{ km}^2$,而石盐见于成盐盆地南段的永川一带,分布面积约 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。据永川东深 1 井和江津临 7 井钻探资料,石盐层累计厚度均在 100 m 以上(图 3)。但向北至邻水座 3 井,厚度急剧变薄至 10 余米,反映石盐层厚度变化颇大,除沉积因素外,与构造作用引起的蒸发岩塑性形变有关。石盐层的埋藏深度均在 4 800 m 或更深。2)中寒武统石冷水组(C_2s)石盐分布。石冷水组石盐层分布仅见于泸州附近的泸县阳深 1 井(图 4 图 5),石盐层累计厚度仅 20 m,分布范围局限,埋深则达 5 000 余 m。

2 石盐的矿物特征及化学成分^[2]

2.1 结晶形态及结构

中、细晶石盐以他形粒状为主,较少为自形一半自形立方体。粒径以 2~5 mm 为多,晶体中很少见气、液相包裹体。晶体结构据 X

射线粉晶衍射分析,其结果见表 1 和图 6。

2.2 物理性质

以灰色为主,次为灰黑色,少数灰白色、浅褐色。透明一半透明,{100}解理发育,性脆,易碎,参差状断口,玻璃光泽。维氏硬度 31~35 kg/mm²,密度 2.2 g/cm³,易溶于水,具咸味。

差热及热重曲线见图 7,吸热谷见于 810℃。

2.3 光学性质

无色,透明,均质体,低突起,折光率为 1.544。

2.4 化学成分

据油气探井岩屑绿井挑出的石盐样进行分析,其结果见表 2。石盐中的 Br 含量 $12 \times 10^{-6} \sim 160 \times 10^{-6}$,一般 $90 \times 10^{-6} \sim 140 \times 10^{-6}$, $\text{Br} \cdot 10^3 / \text{Cl}$ 0.18~0.40 一般为 0.2~0.25。考虑到石盐岩屑从井下 5 000 m 深度上返过程中,可能遭受钻井液的溶滤,会导致石盐 Br 含量有所降低。

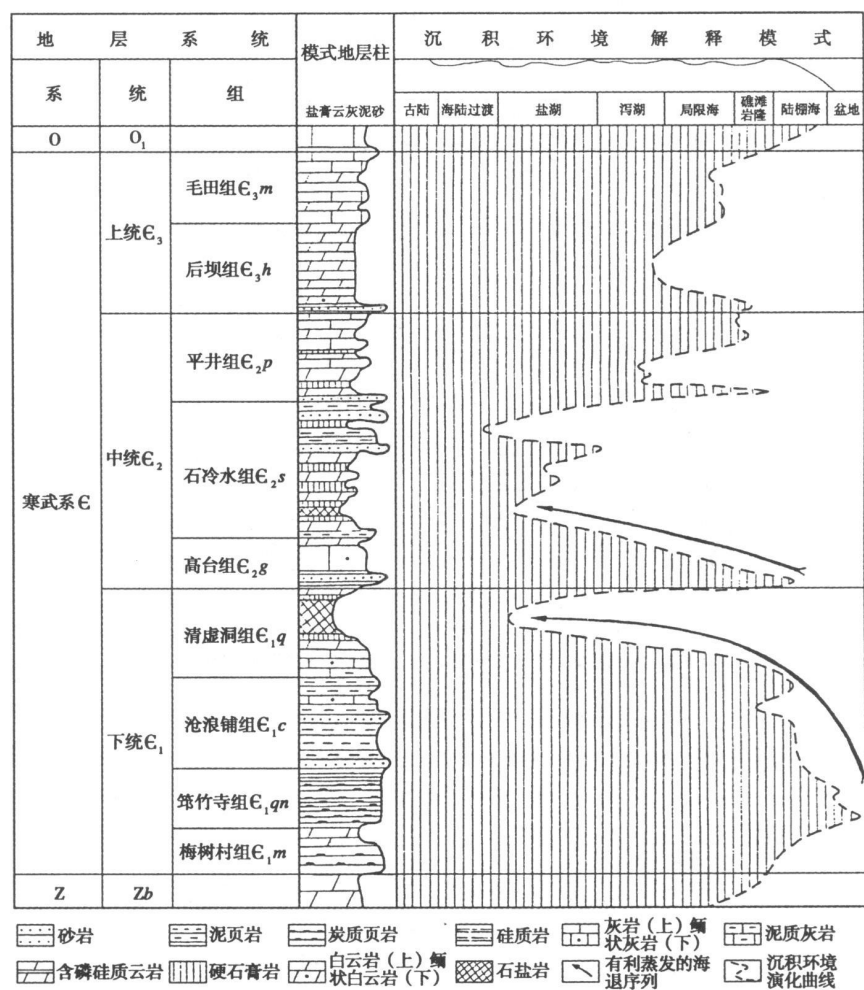


图 2 四川盆地寒武纪地层相演化模式图

Fig 2 Strata phase evolution model of Cambrian in Sichuan basin

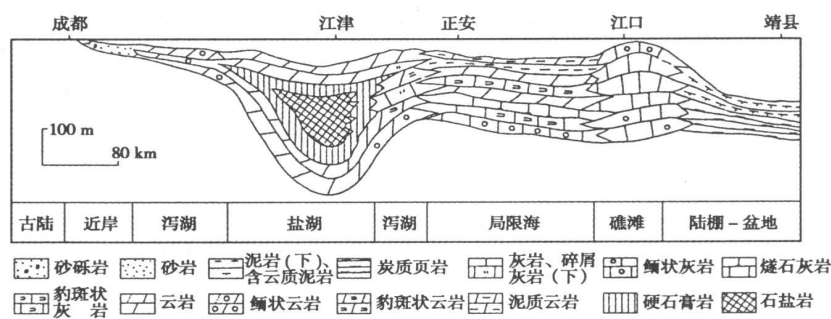


图 3 四川盆地下寒武统清虚洞组横剖面示意图

Fig 3 Cross section sketch map of Qingxudong group of lower Cambrian in Sichuan basin

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cjpe.com>

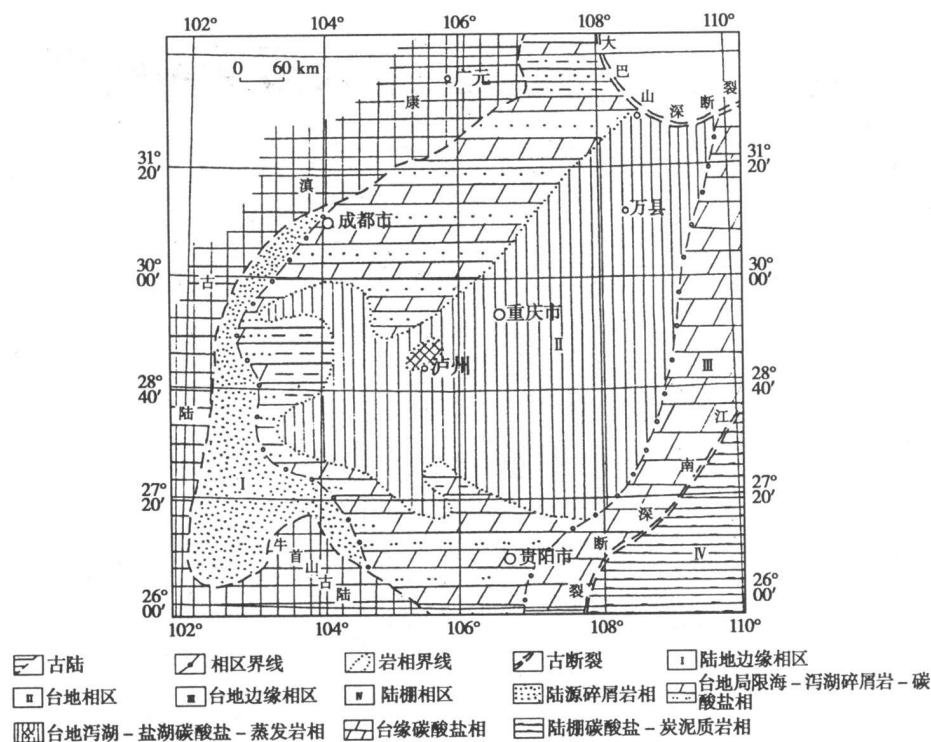


图 4 四川盆地及邻区中寒武世石冷水期沉积岩相古地理略图

Fig 4 Paleogeography sketch map of sedimentary facies of middle Cambrian Lengshui period in Sichuan basin and its adjacent area

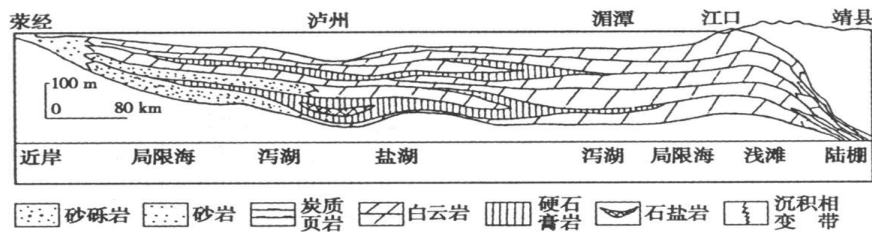


图 5 四川盆地中寒武统石冷组横剖面示意图

Fig 5 Cross section sketch map of Shileng group of middle Cambrian in Sichuan basin

表 1 四川盆地寒武纪石盐 X 射线粉晶衍射数据

Table 1 X-ray diffraction data of Cambrian halite in Sichuan basin

样号	川东临 7-1			川东临 7-5		
a_0/nm	0.563 76			0.563 46		
	d/nm	I/I_0	hkl	d/nm	I/I_0	hkl
分析结果 (主要粉晶数据)	0.364 29	1				
	0.323 32	2	111	0.324 20	4	111
	0.280 02	100	200	0.280 47	100	200
	0.198 49	22	220	0.198 80	39	220
	0.174 22	0				
	0.164 91	1	311	0.169 54	2	311
	0.162 26	5	222	0.162 39	9	222

实验条件: Cu靶, 30 kV, 20 mA, 扫速 4°/min

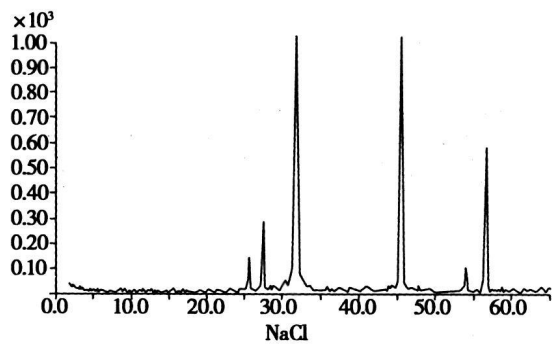
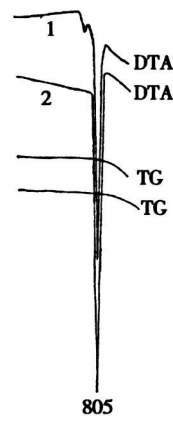


图 6 四川盆地 (寒武纪) 石盐 X 射线粉晶衍射曲线 (川东临 7-1)

Fig 6 XRD pattem of Cambrian halite in Sichuan basin

$\vartheta_{\text{mNa}}/\vartheta_{\text{mCl}}$ 比值为 0.57~0.63, 分析应为沉积变质卤水, 对其找钾意义尚难确切评述。

而盆地东北缘城口—巫溪一带, 虽地形地貌及构造条件均极复杂, 但在寒武系浅埋藏及露头区, 有较多的盐卤水点分布, 主要集中在城口明通、巫溪中坝及天星桥一带。经采样测定, 盐卤水的基本特征为表 4。



1 川东临 7-1; 2 川东临 7-5

图 7 四川盆地 (寒武纪) 石盐差热及热重曲线 (°C)

Fig 7 DTA and TG curves of Cambrian halite in Sichuan basin(°C)

3 寒武纪盐卤水分布及水化学特征

1989年以来, 石油部门在盆地东部大池干井、座洞崖、临峰场和阳高寺等构造施工的油气探井普遍发现高矿化卤水 (表 3)。阳深 2 井、池 7 井卤水矿化度竟高达 346 g/L 之多, 惜未对 K^+ 、 Br^- 等标志组分含量进行测定, 仅从其

表 2 四川盆地寒武纪石盐化学成分分析表 (%)

Table 2 Chemical composition table of Cambrian halite in Sichuan basin

样号	成 分								合计
	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	Br^-	Rb^+	
L-7-1	0.054	37.24	0.44	0.008 4	58.96	1.02	0.008 9	<0.000 1	97.73
L-7-5	0.056	38.45	0.16	0.008 4	58.96	0.39	0.014	<0.000 1	98.04
L-7-6	0.054	39.31	0.15	0.007 8	58.99	0.36	0.014	<0.000 1	99.89
L-7-7	0.040	37.98	0.16	0.006 6	58.60	0.39	0.011	<0.000 1	97.19

表 3 四川盆地东部寒武系油气探井深层卤水水化学特征

Table 3 Hydrochem istry characteristic of deep Cambrian brine in the east part of Sichuan basin

井名	构造	矿化度 / (g/L)	水型 (化势组分)	$\text{mBr} \cdot 10^3 / \text{mCl}$	$\vartheta_{\text{mNa}}/\vartheta_{\text{mCl}}$	成因类型
阳深 2 井	阳高寺	346.31	$\text{ClNa} \cdot \text{Ca}$	—	0.63	沉积变质
临 7 井	临峰场	248.29	$\text{ClNa} \cdot \text{Ca}$	6.25	0.68	沉积变质
座 3 井	座洞崖	279.96	$\text{ClNa} \cdot \text{Ca}$	—	0.75	沉积变质
池 7 井	大池干井	346.23	$\text{ClNa} \cdot \text{Ca}$	—	0.57	沉积变质

表 4 四川盆地东北缘盐卤水点水化学特征表

Table 4 Brine hydrochemistry characteristic of northeast margin in Sichuan basin

地点	水点名称	矿化度 / (g/L)	水型	$mK \cdot 10^3 / \sum m_{\text{盐}}$	$mK \cdot 10^3 / mCl$	$\vartheta_{mNa} / \vartheta_{mCl}$	$mBr \cdot 10^3 / mCl$
城口	ZK1	133.18	Cl-HNa	0.98	1.69	0.99	0.21
城口	ZK2	92.02	Cl-HNa	1.36	2.37	0.99	0.58
中坝	中 1	23.93	Cl·SO ₄ -Na·Ca	6.25	12.57	0.98	0.44
天星桥	天 1	297.12	Cl-HNa	13.95	23.97	0.86	2.96
天星桥	天 2	308.88	Cl-HNa	15.26	25.42	0.86	3.29

由表 4 可见,城口及中坝盐井卤水 $\vartheta_{mNa} / \vartheta_{mCl}$ 高, $mBr \cdot 10^3 / mCl$ 低, 显示了淋滤水特征,但在总盐量中 K^+ 含量比例极低,找钾指示意义不大。唯天星桥构造盐卤水值得注意,其矿化度高达 300 g/L 左右, K^+ 在总盐量中所占比例高 (K^+ 含量为 4.1 g/L), $\vartheta_{mNa} / \vartheta_{mCl}$ 与海水蒸发值基本一致,而 $mBr \cdot 10^3 / mCl$ 则偏低,分析有沉积卤水溶盐及溶钾的可能。惜该地区构造复杂,地形切割剧烈,几无布井扩展余地。

此外值得重视的盆地东南缘彭水地区,在郁山镇一带盐泉水点密集,多沿后灶河,郁江断裂带分布 (图 8),区内地形切割较深,相对高差也大,可达 600~800 m,井泉均处于河流及断裂切割低点,从区域来看,在该地带大面积为志留系及奥陶系覆盖,郁山地区实际系一个构造剥蚀形成的排泄窗,导致寒武系盐卤水得以泄出。该地盐泉水温可达 26~33℃,也说明其循环至地下一定深度,而矿化度的波动则在某种程度上说明盐卤水上泄至近地表时受淡水干扰程度的不一。

根据全盆地寒武系地层产出的 71 件水样统计,郁山镇地区盐卤水点找钾标志最为突出,主要表现在 $\vartheta_{mNa} / \vartheta_{mCl}$ 在 0.95~0.99 间 (具盐溶特征), $mBr \cdot 10^3 / mCl$ 仅 0.33~0.77, K/B 则在 14.50~94.81 间,高 Na、K、贫 Br 显然属淋滤水无疑,而水中 K^+ 在总盐量中所占比例较高,应与流经路途淋滤的围岩组成有密切关系。如该地区与国外已知钾矿区的盐卤水进行对比,其特征系数及产出条件与前苏联早寒武系及二叠系盐泉水极其相似 (表 5)。由此

可以认为,郁山镇地区的找钾值得重视和探索,但也存在着地形交通困难,地下水运移途径及保存条件不易判别而难以深入工作的问题。

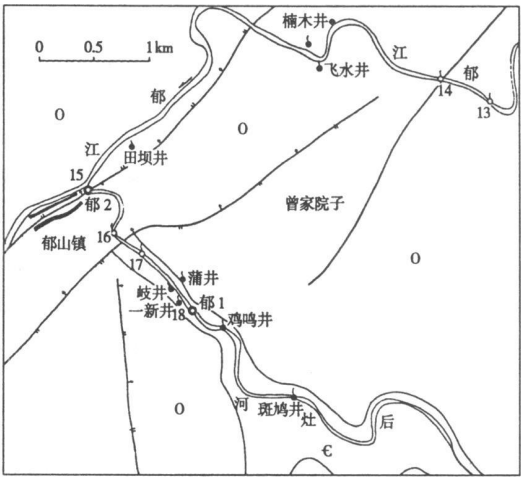


图 8 彭水郁山镇异常水点分布图

Fig 8 Anomalous water site distribution map of Yushan town Pengshui Sichuan

4 找钾前景评述

综合上述四川盆地寒武系盐卤主要分布在古老基底构造控制的台地上的稳定拗陷区,台盆海域具有一定的封闭性,在干旱气候条件下的海退序列分布厚大石盐层。石盐的 $mBr \cdot 10^3 / mCl$ 一般为 0.2~0.25,高者可达 0.4,达到晚期石盐咸化阶段,接近钾盐沉积阶段^[3]。惜石盐埋藏太深,在 5 000 m 左右,已缺乏找钾现实意义。

表 5 四川郁山镇与前苏联已知钾矿水化学资料对比

Table 5 Chemistry data comparison of known potassium ore between Yushan town and former USSR

地区及 样品号	四川郁山镇 (W ₂₁ ~W ₂₉ , W ₃₁ ~W ₃₉)	前苏联已知钾矿水化资料						
		巴菲诺 弗克地 区钻孔	塔石拉 盐田 钻孔	西伯利 亚鸟索 里钻孔	早寒武世盐 沉积分布区 的矿泉水	泉 水	钻孔 水样	高尔达 克盐矿 床钻孔
层位	C	C ₁	—	—	C ₁	P	—	—
矿化度 / (g/L)	18.17~38.62 (平均 26.81)	423.08	335.04	305.46	84.32	191.24	211.55	404.43
mK • 10 ³ /Σm盐	5.99~16.98 (平均 8.23)	49.95	35.74	0.94	7.33	9.25	33.92	36.04
mK • 10 ³ /mCl	11.04~31.62 (平均 15.36)	79.30	50.90	1.57	12.70	16.28	54.60	52.30
K /Br	14.50~94.81 (平均 23.64)	3.19	2.70	8.10	24.17	32.40	3.80	9.34
mBr • 10 ³ /mCl	0.33~0.77 (平均 0.71)	24.60	18.80	0.53	0.53	0.50	14.60	5.60
ΣmNa/ΣmCl	0.95~0.99 (平均 0.98)	0.03	0.03	0.99	0.97	0.99	0.47	0.06
样品数	16	1	1	1	1	1	1	1

在盐盆(体)周边则有高浓度氯化物型的溶滤水和沉积变质卤水分布,主要集中在城口—巫溪一带大巴山区,盐卤水 $\Sigma\text{mNa}/\Sigma\text{mCl}$ 高, $\text{mBr} \cdot 10^3/\text{mCl}$ 低显示淋滤特征,但 K^+ 含量极低,找钾意义不大。唯天星桥构造卤水矿化度 $>300\text{ g/L}$ K^+ 含量高达 4.1 g/L $\text{mK} \cdot 10^3/\text{mCl}$ 为 25.42, $\Sigma\text{mNa}/\Sigma\text{mCl}$ 与海水蒸发一致, $\text{Br} \cdot 10^3/\text{C}$ 则偏低,反映出该卤水具溶盐及溶钾可能^[4],从而展示了较好的找钾前景。然而通过实际工作,表明该区构造复杂,地形切割剧烈,几无施展余地,难以继续部署专门的找钾探井。由此看来找钾条件不够理想。

而郁山镇盐泉卤水,水化学找钾标志突出,特征系数颇佳,值得找钾探索;但存在构造地形复杂及交通运输困难等问题,找钾工作难以深入。由此,四川盆地寒武系虽具成钾线索和条

件,但找钾条件不甚理想,难以深入开展找钾工作。然而寒武纪的找钾工作不能停顿,应继续关注,以期在油气探井中获得更多线索,取得进展^[5]。

参考文献:

[1] 黄建国. 四川盆地寒武系蒸发岩成矿标志及钾盐前景 [J]. 盐类地质, 1991, 51(2): 1.

[2] 秦淑英, 刘群, 李秉孝, 等. 中国矿物志, 第 4 卷, 卤化物矿物 [M]. 北京: 地质出版社, 1992: 133—135.

[3] 林耀庭. 论四川盆地海相三叠系含钾性及找钾方向 [J]. 四川地质学报, 1994, 14(2): 111—121.

[4] 林耀庭, 颜仰圭, 吴应林. 川西某气田水地球化学特征及其开发评价 [J]. 天然气工业, 2000, 20(5): 10—11.

[5] 林耀庭, 陈绍兰. 油气勘查中兼找钾矿是加速我国找钾工作的有效途径 [J]. 盐湖研究, 2007, 15(3): 1—6.

Cambrian Bittern Sediment Characteristic and Finding Potassium Prospect in Sichuan Basin

LIN Yao-ting

(The No. 2 Geological Team of Southwest Bureau of Petroleum, Chengdu 644811, China)

Abstract Cambrian bittern resource exploitation had a long history in Sichuan basin. However, solid salt ore was not found until late 1980s, in which the petroleum exploratory wells began to be placed in the basin. That added a new geological age for halide mineral and changed Cambrian paleogeographic outlook greatly. It supplied new data for salt mine exploration and finding potassium, but the related work on salt-line material was deficient. The paper did a briefly discussion on Cambrian paleogeographic environment, cross section characteristic of salt sediment, halite mineral characteristic and bittern hydrochemistry characteristic.

Key words Salt sediment paleogeography; Salt system sediment characteristic; Finding potassium prospect; Cambrian; Sichuan basin

(上接第 4 页)

Oxygen Isotopic Records from Lacustrine Authigenic Carbonates as Environmental Change Indicators : I. Environmental Explanation Modes

ZENG Cheng WANG Chen-qi

(School of Social Development, Fuyang Teacher's College, Fuyang 236041, China)

Abstract Oxygen isotopic records from lacustrine authigenic carbonates ($\delta^{18}\text{O}_c$) are valuable proxies which can indicate climatic and environmental changes in lake water temperature, atmospheric temperature, temperature difference of different water layers, lake water level, oxygen isotopic composition of precipitation or melted water from glacier and salinity of lake water. Environmental explanation modes proposed by investigators via long-term isotopic records and research are concluded in the paper.

Key words Lacustrine authigenic carbonate; Oxygen isotopic; Environmental change