

四川盆地气田卤水浓度及成因分类研究

林耀庭, 潘尊仁

(西南石油局第二地质大队, 四川自贡 643013)

摘要: 四川盆地气田卤水分布广泛, 自震旦系至白垩系各层系均有分布, 然而其浓度及成因类型不尽一致。按其浓度可分高浓卤水、淡卤水和中浓卤水三类; 成因类型依据氢、氧同位素地质学方法可划分为大气水渗入淋滤型、海源沉积型、海源沉积—大气降水叠加型和海源沉积—岩浆水叠加型四类。该分类明确, 标志明显, 应用效果好。

关键词: 气田卤水; 浓度类型; 氢氧同位素法成因类型; 四川盆地

中图分类号: O653 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-858X(2001)03-0001-07

0 引言

四川盆地气田卤水分布广泛, 自震旦系至白垩系各层系均有分布, 它往往发现于石油天然勘探开发之中, 常与油气共存于同一地质体, 形成气水同产现象, 如威远震旦系气田卤水、自流井三叠系气田卤水等^[1]。据资料, 盆地有水气藏占已投入开发气藏的 8.4%, 有水气藏的地质储量占总探明储量的 76.4%^[2]。

盆地气田卤水除 NaCl 外, 常见的还有 Br(溴)、I(碘)、B(硼)、K(钾)、Li(锂)、Sr(锶)、Rb(铷)、Cs(铯)等各种微量有用元素, 具资源开发利用意义。然而各层系气田卤水浓淡不一, 矿化度差异很大, 最低 6g/L, 最高 377g/L。鉴于卤水赋存层系及储集类型不同, 所处地质环境及经历不一, 地球化学及补给条件不同, 气田卤水特征因层而异, 差异极大, 各自随自身地质条件的制约而演变, 因而盆地气田卤水的成因是复杂和多样的, 浓度变化也大。从综合利用的角度, 气田卤水浓度类型可分高浓卤水、淡卤水和中浓卤水三类; 而从氢、氧同位素地质学方法可将气田卤水划分为大气水渗入淋滤型、海源沉积型、海源沉积—大气降水叠加型和海源沉积—岩浆水叠加型四类成因类型。该分类明确, 标志明显, 应用效果好。现作一概述, 供从事地下卤水研究工作同仁参考。

1 卤水浓度分类及分布

盆地气田卤水自震旦系至白垩系均有分布, 具多产层的特点。据资料, 盆地气田卤水分布在 9 大含气田卤水岩系和 21 个区域气田卤水层^[1]。各气田卤水层与相邻蒸发岩或泥质页岩所构成的隔层关系密切, 组成了相互间平行叠置的各含水组合。各储卤层彼此隔绝而独立, 各层系气田卤水矿化度及水型不尽一致(图 1)^[3]。从综合利用的角度出发, 卤水浓度可分以下三类。

1.1 高浓卤水

震旦纪、寒武纪及早中三叠世是四川盆地三个主要成盐时代, 均有氯化物盐的沉积。古卤水于沉积物中同时沉积封闭以及盐系的成岩压密脱水作用, 导致盐系易溶盐类被溶滤, 盐类组分转入液相, 常在相邻储卤层聚集着高浓卤水。

震旦纪岩盐分布于川南长宁—兴文一带, 岩盐层产于上震旦统灯影组下部, 盐层因后期构造变异, 厚度变化极大, 在 29~369m 间, 埋藏深度 2700~3100m。盐质较纯, 于该区采得原始沉积气田卤水, 矿化度都在 250g/L 以上。而在其北部无盐区的威远构造, 气田卤水矿化度仅 80g/L 左右。

收稿日期: 2000-09-18

作者简介: 林耀庭 (1933-), 男, 大学本科, 教授级高级工程师, 长期从事盐卤钾资源勘查开发和科研。现退休。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

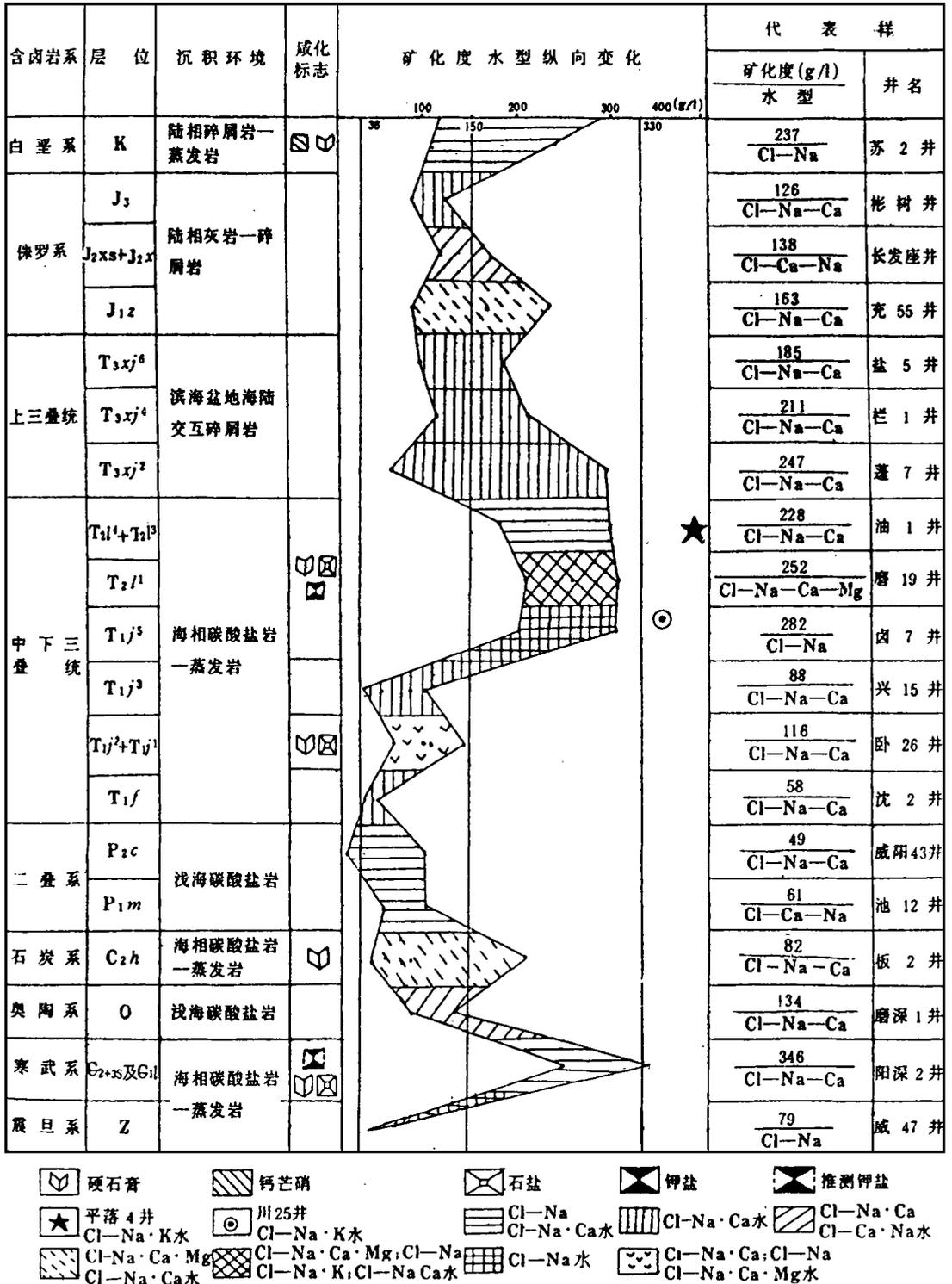


图 1 四川盆地盐卤水矿化度、水型剖面特征图

Fig. 1 Section feature of mineralization and water pattern of brine in Sichuan Basin

寒武纪时,除短期海进外,大规模海退造成古生代以来最广阔的潮坪,其间发育了不少膏盐盆地,如重庆、永川、邻水和泸州等地在井深 5000m 左右均发现厚大岩盐层,厚 6~276m,反映了该时期成盐条件良好。新近在川东巫溪天星桥施工的天 2 井,气田卤水矿化度达到 315g/L, K^+ 、 Br^- 等含量也较高,分别达 4.76g/L 和 0.68g/L。邻水及忠县钻井新遇卤水矿化度也分别高达 280g/L 及 346g/L。这种卤水的高浓度、多组分,显然与相邻蒸发岩系的咸化程度密切相关。

三叠系下、中统是盆地最为主要的含盐含卤层系。剖面自下而上有 T_1j^2 、 T_1j^{4-2} 、 T_1j^{5-2} 、 T_2L^{1-1} 、 T_2L^{1-3} 、 T_2L^3 、 T_2L^4 等 7 个含盐层位,与其相间的碳酸盐岩储层则储集了浓卤水,以 T_1j^{5-1} 、 T_2L^{1-2} 、 T_2L^4 储层气田卤水浓度最高, Br^- 、 I^- 、 B^{3+} 、 K^+ 、 Li^+ 等微量有用组分也较高。如川中梓潼一带气田卤水矿化度 300g/L 左右,川东北宣汉一带为 352g/L 之多,川西平落坝更高达 377g/L,形成富钾富硼高浓气田卤水富集区^[4]。

1.2 淡卤水

主要分布于二叠系、石炭系、奥陶系等层位,震旦系在无盐地区的气田卤水也属此类型。卤水矿化度低,常不足 100g/L,但微量有用组分含量较高。如二叠系卤水矿化度一般较低,川南太和构造气田卤水矿化度仅 30g/L,而碘含量达 25mg/L,溴 109mg/L;川东北雷音铺构造气田卤水矿化度 37.9g/L,但碘含量高达 64mg/L,溴 107mg/L;川东大池干井构造气田卤水矿化度 80g/L,碘含量高达 84mg/L,部分构造碘含量甚至高达 190~290mg/L 之多。石炭系气田卤水矿化度多在 150g/L 左右,但部分碘含量也高达 84mg/L,震旦系气田卤水在威远构造矿化度仅 80g/L,但 Br^- 、 K^+ 、 B^{3+} 、 Li^+ 均相对富集。

1.3 中浓卤水

三叠系上统须家河组也是盆地主要含卤层之一, T_3x^2 、 T_3x^4 、 T_3x^6 等均赋存有气田卤水,卤水的特点是矿化度略低于三叠系中、下统卤水,但显著高于二叠系、石炭系等层位气田卤水的矿化度,一般在 200g/L 左右,且卤水中的溴、碘、锶、钡等组分含量特高,于盆地中部溴含量多大于 1g/L,碘在 30mg/L 以上,均超过工业品位。

2 气田卤水成因分类研究

盆地气田卤水赋存层系、水型不同,成因复杂多样,采用传统的古水文地质学、水文地球化学等方法研究卤水成因往往具有多解性。笔者使用氢、氧同位素方法对盆地气田卤水进行成因分类研究,具有确定的成因涵义,且分类明确,标志明显。

2.1 基本原理方法

组成水分子的氢和氧元素都有三个天然同位素,即 ^{16}O 、 ^{17}O 、 ^{18}O 和 1H 、 2H (D, 氘)、 3H , 它们可组成各种不同的水分子,其物理化学性质有所差异。鉴于重同位素蒸气张力小,在蒸发过程中,轻同位素富集在气相中,而重同位素则富集在液相中。海口重同位素多,而参与大气循环的天然水——雨水、河水、井水等重同位素少。据克雷格(Craig, 1961)的研究,雨水氢、氧同位素变化规律遵循大气降水直线方程^[5]:

$$\delta D = 8\delta^{18}O + 10$$

因而我们可利用 $\delta D - \delta^{18}O$ 这一关系图(图 2),视气田卤水的 δD 与 $\delta^{18}O$ 值在图上的落点位置,区分和判别它与大气降水或地表水的联系程度,确定

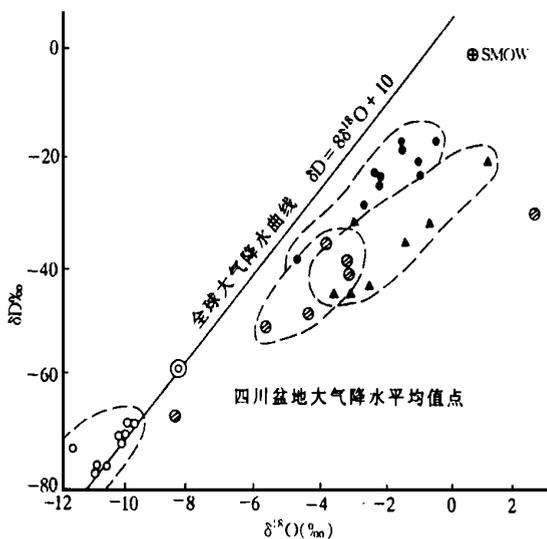


图 2 不同类型水的 $\delta D - \delta^{18}O$ 关系对比

Fig. 2 Relational comparison of $\delta D - \delta^{18}O$ of different watertype

◎ 四川盆地大气降水平均值点; ⊙ 海源沉积卤水—淡水混合试验点; ▲ 四川盆地须家河组气田水值点; ○ 渗入型水; ● 波兰西里亚煤盆地古渗入水混合的海相残留沉积水; SMOW: 标准(平均)海洋水

气田卤水的补给和富集条件。当落点位于大气降水线附近时,则气田卤水可能与大气降水溶滤组分有密切关联

当同位素由液相转变为固相对,重同位素在固相中富集。氧元素是岩石中的主要成分之一,固相中特别富集氧的重同位素。当气田卤水处于深埋封闭环境,在高温、高压条件下,于岩层中滞留时间较长,便会水、岩同位素交换,使气田卤水的氧同位素增高,谓之“氧漂移”。

2.2 气田卤水成因分类

表 1 四川盆地各成因类型气田卤水 δD 和 $\delta^{18}O$ 值

Table 1 δD and $\delta^{18}O$ values of brine from gas fields of different genesis in Schuan Basin

气田卤水成因类型	$\delta D(\text{‰})$			$\delta^{18}O(\text{‰})$			样品数 (件)
	最高	高低	平均	最高	高低	平均	
大气水渗入淋滤型(I)	-44	-71	-61	6.7	-11.3	-8.7	19
海源沉积型(II)	-7	-38	-21	+8.5	+0.1	+3.3	39
海源沉积—大气降水叠加型(III)	-19	-60	-46	+0.7	-3.8	-2.9	17
海源沉积—岩浆水叠加型(IV)	-39	-53	-43	+5.9	+3.2	+4.6	6

注:四川盆地所测定的大气降水氢、氧同位素平均值为 $\delta D = -5\text{‰}$, $\delta^{18}O = -8.7\text{‰}$ 。

2.1.1 大气水渗入淋滤型(I)

该类型气田卤水的氢、氧同位素组成与盆地大气降水十分接近,从图 3 可知该卤水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 值点集中分布在大气降水线下方的左右两侧,显示其成因与大气降水的渗入有密切关系。该类气田卤水主要分布在盆地周边的白垩纪、侏罗纪、三叠纪及寒武纪各时代层系中。

2.1.2 海源沉积型(II)

气田卤水各样点的 δD 和 $\delta^{18}O$ 值点集中分布在海水(SMOW)点的右下方,于封闭盆地的残留海水中,其成因与海水密切相关。该类气田卤水主要分布在三叠系下、中统和二叠系。

2.1.3 海源沉积—大气降水叠加型(III)

卤水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 主要分布在 I、II 两类型之间,呈两类型的过渡混合状态。该类气田卤水包括自贡和川中的须家河组(T_{3X})和乐山五通桥的雷口坡组三段(T_2L^3)气田卤水。

2.1.4 海源沉积—岩浆水叠加型(IV)

卤水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 值点集中分布在远离海水(SMOW)点的右下方。该类气田卤水主要为威远背

为研究盆地气田卤水成因,近年来西南石油局第二地质大队先后和中国地科院矿床所共同采集盆地各层系卤水氢、氧同位素样品 80 余件,测定结果表明,其同位素值变化很大,其中 δD 最高为 -7‰ ,最低为 -11.3‰ ;而 $\delta^{18}O$ 最高为 $+5\text{‰}$,最低为 -11.3‰ 。而这些氢、氧同位素的测定结果,应用 $\delta D - \delta^{18}O$ 关系图,视其分布,将盆地气田卤水明确划分四种成因类型(图 3)。各类型气田卤水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 值列于表 1,其特征分述如下。

斜和震旦系气田卤水。

3 气田卤水成因的几个讨论

上述气田卤水的成因除第 I 类型与以往的传统认识一致外,其它三种类型的成因均存在不同认识,现讨论于下。

3.1 须家河组气田卤水有古大气降水掺合

上三叠统须家河组气田卤水赋存于煤系碎屑岩岩层中,主要由一套中细粒长石石英砂岩组成,气田卤水矿化度在 200g/L 左右。长期以来,人们普遍认为该卤水是海源陆相地层的沉积水,而从氢、氧同位素资料分析,尚有古大气降水的掺合,为海源沉积水与大气降水叠加型气田卤水。

用四川盆地典型的矿化度较高的海源沉积水与当地大气降水按不同比例作掺合淡化试验,并测定了它们的氢、氧同位素值(表 2),结果表明其氢氧同位素及其变化趋势与须家河组气田卤水基本一致(图 1)。

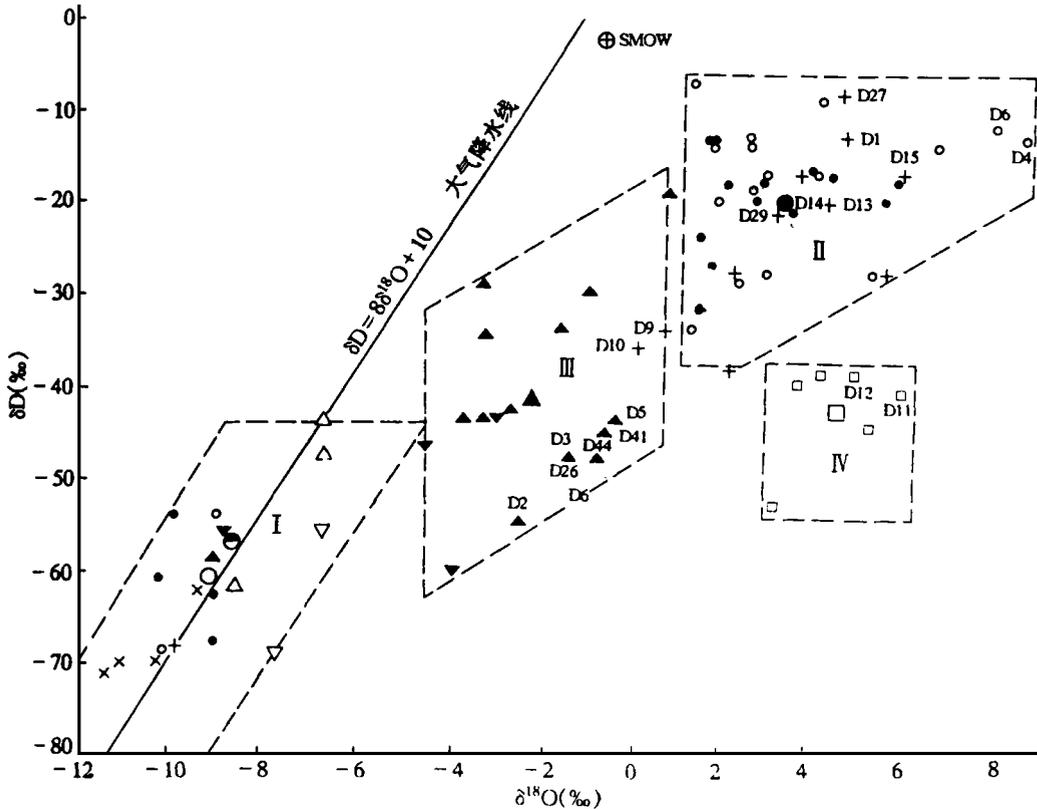


图3 四川盆地气田水类型

Fig. 3 Types of gas field water in Sichuan Basin

I 大气水渗入淋滤型气田水; II 海源沉积型气田水; III 海源沉积—大气降水叠加型气田水; IV 海源沉积—岩浆水叠加型气田水;
 △ 白垩系(K); ▽ 侏罗系(J); ▲ 三叠系须家河组(T₃x); ▼ 三叠系雷口坡组三段(T₂³); ● 三叠系嘉陵江组五段和雷口坡组一段(T₂⁵—(T₂¹)); ○ 三叠系嘉陵江组一至三段(T₂¹⁻³); + 二叠系(P); × 寒武系(C); □ 震旦系(Z); ● 盆地大气降水平均值;
 ○▲●□各型水平均值

表 2 海源沉积水淡化试验氢、氧同位素变化

Table 2 Variation of hydrogen and oxygen

isotopes in desalination test of marine sedimented water

样号	卤水:淡水	δD (‰)	δ ¹⁸ O (‰)	矿化度 (g/L)
1	100: 0	- 27	+ 1.8	349.94
2	80: 20	- 34	- 4.0	279.85
3	65: 35	- 36	- 3.5	227.46
4	50: 50	- 38	- 3.6	174.97
5	35: 65	- 47	- 4.6	122.48
6	20: 80	- 49	- 6.0	69.99
7	0: 100	- 64	- 8.3	0

本一致(图 1) 故其成因也应基本相同。属海源沉积水与大气降水叠加型气田卤水。

盆地上三叠统须家河组气田卤水、海源沉积水淡化混合试验水及波兰上西里煤盆地卤水的氢、氧同位素分布均位于大气降水范围与“SMOW”之间,反映了三者共同的掺合特征。如将图 3 中的 I、II 类型气田卤水 δD 和 δ¹⁸O 的平均值连线,则须家河组气田卤水的氢、氧同位素值正好分布在其间,可见为大气降水与海源沉积水的掺合范围。

3.2 川南泸州地区嘉陵江组一至三段气田卤水并无古大气降水掺合

川南泸州地区下三叠统嘉陵江组一段至三段气田卤水分布在泸州古隆起的周围,赋存在海相碳酸盐岩层中,其矿化度较低,仅 30~ 50g/L,按传统观点认为,泸州古隆起因受印支运动影响,三叠系地层已剥蚀到嘉陵江组第三段,致使嘉陵江组一至三段

据资料,波兰上西里煤盆地卤水为已确定的混合型卤水^[6],四川盆地上三叠统须家河组气田卤水与之比较,氢氧同位素虽略有差异,但分布趋势基

气田卤水受大气降水掺合影响,造成卤水矿化度偏低,然而据氢、氧同位素资料分析,其值点均落于海源沉积水范围,并无大气降水掺合影响

我们分析认为,从嘉陵江组地层看,为一套海相碳酸盐岩和含膏岩类的韵律组合,至中叠世末泸州隆起虽受印支运动影响,地壳上升,嘉陵江组三段地层以泸州纳溪为中心遭受剥蚀^[7],气田卤水层也遭破坏,但其范围有限,仅限于泸州古隆起高点附近,而向古隆起外围嘉陵江组一至三段地层仍保持完整,且其上下的嘉陵江组四段和二段为含膏层,起到良好的隔水作用,因而川南泸州地区极大部分嘉陵江组一至三段气田卤水并未受到大气降水的掺合影响,而完全保持了海源沉积型气田卤水的性质

3.3 威远震旦系气田卤水具有岩浆水的特征

威远震旦系气田卤水赋存于海相碳酸盐岩层中,主要为大套白云岩类,气田卤水矿化度较低,仅 70~80g/L,为海水的 2 倍多;但 $\delta^{18}\text{O}$ 却特别高, δD 又低,其平均值分别为 +4.6‰ 和 -43‰,紧靠岩浆水分布范围。有人认为气田卤水矿化度低和 δD 低是受渗入水影响的结果;而 $\delta^{18}\text{O}$ 高的原因则是由于围岩与气田卤水发生同位素交换出现的“氧漂移”。但从钻探实际资料分析,威远震旦系气田卤水埋深为 3626m,而个别钻井在 3630m 的深度就进入前震旦系花岗岩。花岗岩和其上覆震旦系呈假整合接触,加之震旦系白云岩裂隙发育,成岩后经多期构造运动,据 Rb-Sr 年龄测定为 740Ma 前澄江运动产物。澄江运动岩浆活动强烈,无疑这使震旦系气田卤水受到岩浆活动的影响,有岩浆水的加入。

据 Homoto (1985) 资料,典型的岩浆水 δD 在 -90‰~-70‰ 之间,而 I 型花岗岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 介于 6~8‰,威远震旦系气田卤水的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值均与之相近^①。另据中国科学院兰州地质研究所对稀有气体的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 分析研究,威远震旦系天然气是幔源气体。又据气田卤水稀土、稀散微量元素及重金属元素的分析,它们的含量都高度密集。震旦系气田卤水矿化度仅为海水的 2 倍多,而 Mn(锰)、Zn(锌)、Cu(铜)、Pb(铅)以及 Li(锂)、B(硼)都高海水 2 个数量级,也高于盆地其它气田卤水,其它微量组分 As(砷)、Sn(锡)、Rb(铷)、K(钾)、Ga(镓)、Ni(镍)、V(钒)等也远高于海水 1~2 个数量级(表 3)。这绝非震旦系气田卤水溶滤沉积岩层而出现的含量异常,而应是深源岩浆水沿岩层裂隙上涌与海源沉积水掺

合的结果。

表 3 震旦系气田卤水与海水微量元素含量对比 ($\mu\text{g/L}$)^①

Table 3 Contents comparison of Sinian gas field brine and trace elements in seawater

微量元素	正常海水	震旦系气田卤水
Co	0.10	1.24~3.80
Cr	-	0.90~3.60
Ga	0.50	1.20
Ni	0.50	1.20~10.70
V	0.30	0.20~3.70
Se	0.04	0.20
Zr	-	0.30~0.67
Ti	-	0.30~1.46
As	24.00	37.30~1177.00
Sn	3.00	3.00~20.80
Rb	200.00	6400.00~6800.00
Ba	0.05	3800.00
Li	0.10	130.00
K	380.00	2380.00
Sr	13.00	147.00
B	4.60	465.86

4 结语

四川盆地气田卤水,富含多种有用元素,是一种综合性的液态矿产资源,在四川具有得天独厚的资源优势,因而对其浓度及成因分类研究具有重要意义。而运用氢、氧同位素方法对盆地气田卤水成因的研究,分类明确,标志明显,有确定的成因涵义,能获得较好效果,可弥补水文地质学等方法的某些不足,值得推广使用。但鉴于我们的理论和业务水平有限,该项研究工作尚属初步探索,在某些方面尚有论证不足,说明力不强之感,这些都有待从事油气田水和盐卤水的广大地质勘查科研工作者进一步探讨解决,以使同位素地质法研究气田卤水成因这一行之

① 宋鹤彬,四川盆地古沉积环境探讨和卤水稳定同位素地球化学特征研究(送审稿),中国地科院矿床所,1989。

有效的手段和方法得以不断完善。本文得到中国地质科学院矿床地质研究所宋鹤彬同志的帮助,特此致谢

参考文献:

- [1] 林耀庭. 四川盆地气田水及开发利用展望 [J]. 盐湖研究, 1999, 7(4): 31-34.
- [2] 许可方. 四川气田排水采气工艺技术 [J]. 天然气工业, 1995, 增刊: 9.
- [3] 徐庭谅. 四川盆地卤水水文地球化学特征 [J]. 盐类地质, 1991, (1): 5-8.
- [4] 林耀庭, 曹善行. 四川盆地西部富钾富硼卤水开发利用 [J]. 矿产保护与利用, 1998, (1): 41-42.
- [5] 尹观. 同位素水文地球化学 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1988. 68-70.
- [6] 张人权. 同位素方法在水文地质学中的应用 [M]. 北京: 地质出版社, 1983. 56-80.
- [7] 林耀庭, 熊淑君. 四川盆地海相三叠系地下水驱动条件及水资源分布的研究 [J]. 四川地质学报, 1998, 18(3): 214.

Study on Density and Torming Dassification of Gas Field Brine

LIN Yao-tin, PAN Zhong-ten

(The second geological group of Southwest Bureau of Petroleum Zigong, Sichuan, 643013, China)

Abstract Brine is widly distributed in gas fields of Sichuan Basin from Sinian period layer to cretaceous layer, but with different concentration and genesis. The brine there can be grouped by concentration into highly concentrated brine. Fresh brine and medium concentrated brine. fresh brine and mediam-concentrated brine, or by origin into brine leached with precipitate, setimented seawater, setimented seawater mixed with precipitate and setimented seswater mixed with magma. This classification is clear and accurate and of importance.

Key words Gasfield brine; Concentration type; Sichuan Basin

声 明

1. 为适应我国信息化建设需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章编入该数据库,请在来稿时声明,本刊将作适当处理。

2. 本刊已入万方数据资源系统(China Info)数字化期刊群。