

文章编号: 1000-0550(2012)02-0399-00

松辽盆地北部地层水同位素特征及其地质意义^①

史婷婷¹ 成建梅¹ 解习农² 张晓宇³

(1. 中国地质大学环境学院 武汉 430074; 2. 中国地质大学 构造与油气资源教育部重点实验室 武汉 430074;
3. 中铁第一勘察设计院集团地路处 西安 710043)

摘要 盆地流体是沉积盆地中非常活跃的因子,盆地流体的水文地球化学特征主要是受控于流体-岩石相互作用。本文以松辽盆地北部为研究对象,基于地层水的水文地球化学特征、锶-氢-氧同位素数据分析,初步探讨了水-岩反应与锶-氢-氧同位素的关系。这一研究对于丰富同位素示踪、水-岩相互作用等基础理论具有重要研究意义。分析表明,位于盆地西部地区地层水明显受到古大气降水的影响,中央凹陷地区 $\delta^{18}\text{O}$ 正偏移可能是由水岩作用加强引起的。地层水为大气水与原生沉积水的混合,较轻的 δD 值反映出原始沉积水属陆相沉积水。地层水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值略低而 Sr^{2+} 含量又较高,是高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值流体端元与低 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值流体端元的混合,即地表来源水与深部水的混合,也更多地受到高 Sr^{2+} 含量低 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的火山-地热水等幔源深部水的补给。

关键词 地层水 水-岩相互作用 锶-氢-氧同位素 松辽盆地

第一作者简介 史婷婷 女 1984年出生 博士研究生 沉积学 E-mail: stt_0801@yahoo.cn

通讯作者 成建梅 E-mail: jmcheng@cug.edu.cn

中图分类号 P593 **文献标识码** A

0 引言

应用同位素化学研究地层水,可得出水的来源,确定水岩作用的强度,追踪流体流向,计算古温度以及盆地流体的年龄和滞留时间。地下水同位素组成的改变主要有以下几个作用:(1)地层水和矿物之间的同位素交换;(2)蒸发浓缩作用;(3)由于岩石膜渗透特性引起的同位素分馏;(4)地层水与其它流体特别是石油的同位素交换^[1]。Chaunoy地层水的 δD 主要分布在 -25‰ 和 -30‰ 之间,反映出古大气降水的影响, $\delta^{18}\text{O}$ 同位素值反映出水岩相互作用^[2]。随着水-岩反应的增强, δD 增大;成岩改造水 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 为 $-35\text{‰} \sim -17\text{‰}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $+0.2\text{‰} \sim +4\text{‰}$ 。烃与水间可直接发生氢同位素交换,使水具有很轻的氢同位素组成^[3]。

地层水中氢、氧、锶(δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)同位素被广泛用于地层水的成因研究。锶同位素对证明地层水中锶的来源有着巨大的作用,同时说明了水岩相互作用的强度,以及区域地下水在流动过程中的混合程度。自从前寒武纪以来,海水中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值在0.707 0和0.709 2之间变化,其中,锶中 ^{87}Sr 的富集主要是由于大陆侵蚀风化引起的,而其贫乏来自于地

幔^[4]。Barnaby等^[5]分析了新墨西哥宾夕法尼亚系碳酸盐储层地层水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值,西部下倾岩层的比值达到了0.710 129,而东部上倾岩层比值较小为0.708 903,咸水中较高盐度和盐岩溶解的增加暗示着放射性 ^{87}Sr 来源于蒸发。海水和大气降水的 δD 差别较大,判断地层水成因时可将 δD 作为重要依据;相反地层水中氧同位素与围岩会发生同位素交换而变化较大^[6],因此不能反映原始地层水的氧同位素特征。

地层水的来源及成因是非常复杂的,仅仅讨论常规组分离子的含量和离子之间的关系难以确定其成因与来源。因此,结合微量元素和同位素组分综合分析来解释地层水的成因与来源是必要的手段。

1 研究区地质背景

松辽盆地位于中国东北部,长750 km,宽330~370 km,总面积约26万 km^2 ,是一个大中型的、呈北北东向展布的菱形沉积盆地(图1)^[7]。盆地周围为山脉和丘陵所环绕,东部为张广才岭、西邻大兴安岭,南部接康平—法库丘陵地带,北与小兴安岭为界。盆地内部是嫩江—松花江和辽河两大水系的大平原和沼泽。盆地周围主要是古生代和前古生代的变质岩

^①国家自然科学基金项目(批准号:40772154 40872076)和教育部新世纪优秀人才项目(编号:NCET-06-0659)资助。
收稿日期:2011-01-20;收修改稿日期:2011-04-21

和火山岩。盆地内部的新生代地层下面,广泛分布着白垩纪地层。因此,松辽盆地即是一个地质上的沉积盆地,也是四周高中间低凹的地形上的盆地^[8]。

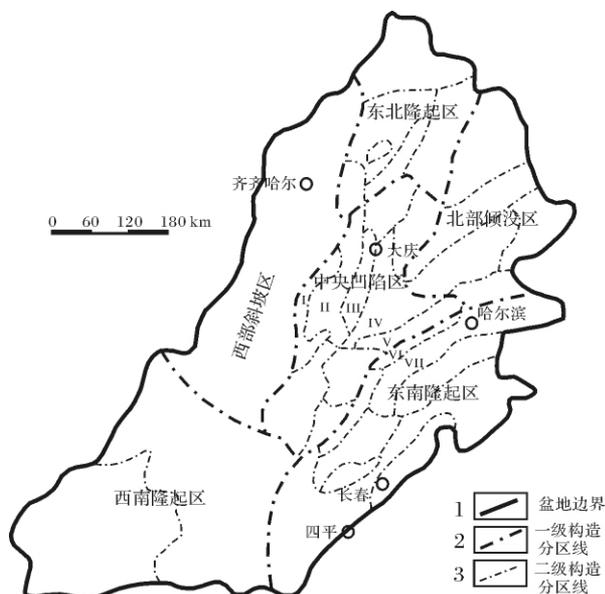


图1 松辽盆地拗陷层构造单元划分^[7]

(I: 龙虎泊阶地; II: 齐家—古龙凹陷; III: 大庆长垣; IV: 三肇凹陷; V: 朝阳沟阶地; VI: 长春岭背斜; VII: 宾县—王府凹陷; 康泰隆起和西部超覆带位于西部斜坡区)

Fig. 1 Tectonic unit division of Songliao Basin depression layer (Modified from Gao and Cai, 1997)

(I. Longhupo Terrace; II. Qijia - gulong Depression, III: Daqing Placanticline; IV: Sanzhao Depression; V: Chaoyanggou Terrace; VI: Changchunling Anticline; VII: Binxian - Wangfu Depression; Kangtai Uplift and Western Overlap Terrain are in the western slope area)

本文的研究区主要包括松辽盆地北部西部斜坡区、中央凹陷区、东南隆起区主要的二级构造单元,包括西部超覆带、康泰隆起、龙虎泊阶地、齐家—古龙凹陷、大庆长垣、三肇凹陷、朝阳沟阶地、长春岭背斜、宾县凹陷等,这些构造单元统称为松辽盆地北部。盆地基底主要由侏罗纪以前的变质岩、岩浆岩和火山岩组成。研究区下部和中部构造单元总共分为5个地层单元,依次是:上侏罗统和下白垩统为一层(JD),泉头组(K_2q),青山口组(K_2qn),姚家组(K_2y)和嫩江组(K_2n)。白垩系下统登娄库组(K_1d)属于JD,主要是砂岩、砂砾岩、泥质粉砂岩夹泥岩; K_2q 主要是泥岩、砂质泥岩与砂岩、泥质砂岩组成; K_2qn 下部为泥岩、页岩夹油页岩,上部为泥岩夹砂岩; K_2y 主要为砂岩、粉砂岩互层; K_2n 下部为页岩夹油页岩,上部为泥岩夹砂岩。

2 样品采集和分析结果

在松辽盆地共采集D、O同位素样品三件,均为水样,同位素测试工作由中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室完成,采集23件Sr同位素样品,其中3件样品为水样,20件样品为岩样,Sr同位素测试由宜昌地质矿产研究所完成。将松辽盆地同位素样品分析结果列入表1、表2。另外,还采集了13件水样,其阴阳离子的测试工作由中国地质大学(武汉)生物地质与环境地质教育部重点实验室完成。

3 地层水同位素组成

3.1 氢、氧同位素组成

研究表明^[9,10],利用油田水的氢、氧同位素组成阐释油田水的起源与形成机制及分类也是有效的,例如冀中拗陷不同成因类型地下氢氧同位素组成具有迥然不同的特征,新近系地层水主要为渗入—沉积混合水;古近系沉积水未受大气降水影响,属沉积成因的地下水等。

本次研究松辽盆地地层水样的氢、氧同位素测试结果(见表1),其中江76-I和江76-II的 δD 、 $\delta^{18}O$ 值非常接近,与金84井相比更接近全球大气降水线,受大气降水影响明显;而金84井的 δD 、 $\delta^{18}O$ 值与江76-I和江76-II相比,两者的值都发生正偏移, $\delta^{18}O$ 的正偏移与油田水中铝硅酸盐、碳酸盐矿物之间的氧同位素交换有关,即与增强的水—岩相互作用有关。另外收集了松辽盆地十屋断陷三个地层水样的氢氧同位素的值,其中十屋1和十屋2水样的 δD 、 $\delta^{18}O$ 值接近大气降水线,十屋3地层水样的 $\delta^{18}O$ 为 -10% ,说明其受水岩反应的影响,取自封闭性较好的地下水。十屋断陷地层水的 δD 大于西部斜坡带和三肇凹陷地层水的值,分析其原因,可能是由于蒸发作用引起地层水重氢氧同位素富集。地层水样的 δD 值都非常的小,相对海水氘同位素组成($\delta D = -0.17\%$, $\delta^{18}O = -1.4\%$)而言极度贫氘,而影响海水氘同位素分馏因素一般只产生40%的变化幅度,故可判别其原始沉积水属于陆相沉积水。

在 δD - $\delta^{18}O$ 关系图中(图2)金84、江76-I和江76-II地层水样都偏离全球大气降水线($\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 10$)^[11],哈尔滨地区大气降水线($\delta D = 6.42 \times \delta^{18}O - 9.89$)^[12],中国大气降水线($\delta D = 7.96 \times \delta^{18}O + 8.2$),为沉积盆地地层水的特点,并严重受古大气降

表 1 松辽盆地北部地层水 D、O 同位素测试结果

Table 1 $\delta D, \delta^{18}O$ values of formation water in the north of Songliao Basin

井号	样品类型	构造单元	层位	埋深/m	$\delta D/\text{‰}(\text{SMOW})$	$\delta^{18}O/\text{‰}(\text{SMOW})$
江 76-I	水样	西部斜坡带	K_2qn	646	- 100.8	- 12.65
江 76-II	水样	西部斜坡带	K_2qn	617	- 100.5	- 12.83
金 84	水样	三肇凹陷	K_2q	1975.2	- 100	- 11.7
十屋 1	水样	十屋断陷	K_2q	400	- 88	- 12.2
十屋 2	水样	十屋断陷	K_2q	400	- 85.5	- 11.55
十屋 3	水样	十屋断陷	K_2q	1540	- 93	- 10

其中十屋凹陷的数据引自于“八五”国家重点科技攻关项目研究成果《不同温压条件下流体动态模拟研究》,中国地质大学(武汉),1994. 10.

表 2 松辽盆地北部地层水 Sr 同位素测试结果

Table 2 $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios of formation water and rock in the north of Songliao Basin

井号	样品类型	层位	埋深/m	$^{87}Sr/^{86}Sr$	井号	样品类型	层位	埋深/m	$^{87}Sr/^{86}Sr$
江 76-I	水样	K_2qn	646	0.70704	杏 8-11	岩样	K_2y	1036.67	0.70978
江 76-II	水样	K_2qn	617	0.70662	杏 8-6	岩样	K_2y	1068.27	0.70837
金 84	水样	K_2q	1975.2	0.70652	杏 812	岩样	K_2qn	1073.12	0.70854
江 72-9	岩样	K_2n	591.97	0.70929	杏 8-3	岩样	K_2qn	1083.42	0.70811
江 72-2	岩样	K_2n	615.29	0.70933	江 72-7	岩样	K_2qn	635.11	0.70805
杏 8-15	岩样	K_2n	872.18	0.70922	茂 203-10	岩样	K_2qn	1771.98	0.70939
杏 8-16	岩样	K_2n	875.18	0.70938	茂 203-6	岩样	K_2qn	1773.68	0.70901
杏 8-7	岩样	K_2y	901.47	0.71058	茂 203-2	岩样	K_2qn	1775.18	0.70918
杏 8-4	岩样	K_2y	920.00	0.70794	茂 203-12	岩样	K_2q	1786.45	0.71196
杏 8-13	岩样	K_2y	970.07	0.70811	茂 203-1	岩样	K_2q	1818.37	0.71324
杏 8-2	岩样	K_2y	979.97	0.70857	茂 203-3	岩样	K_2q	1839.31	0.71098
杏 8-9	岩样	K_2y	1017.67	0.70904					

水的影响,使地层水的氢同位素降低,表现为大气水与原生沉积水的混合。

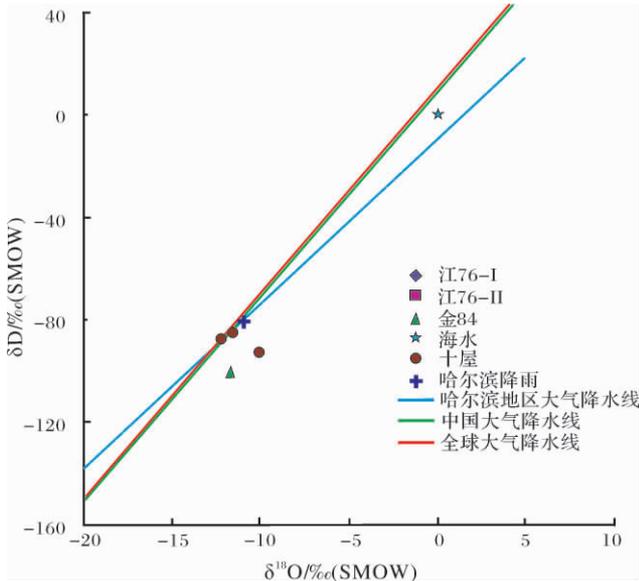


图 2 松辽盆地北部地层水 δD 和 $\delta^{18}O$ 关系图

Fig. 2 Variations of $\delta^{18}O$ with δD of formation water in the north of Songliao Basin

尽管测试氢(δD)、氧($\delta^{18}O$)同位素的地层水样

量有限,不能完全对地层水的来源给予准确的解释,但从现有水样测试数据的分析可知,地层水处于不同地区和层位其来源存在一定的差异。

3.2 锶同位素组成

锶在化学和生物学过程中不会产生同位素分馏,因而在研究物质迁移和变化过程中, $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值是有效的示踪剂。虽然蒸发等地质作用可以改变锶同位素的浓度,但锶同位素在同一地质时期、同一水域组分 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值几乎不变^[13]。因此,Sr是判断水体的补给来源、古沉积环境的有效地球化学参数。

受Sr的地球化学性质的控制,地下水中Sr主要来源于含Ca矿物和含K矿物的溶解。在白垩系地层中方解石、白云石、石膏、钾长石和白云母均可能为地下水提供Sr。在总溶解固体(TDS, Total Dissolved Solids)与Sr关系图上(图3)地下水中Sr的浓度随TDS的增加而增加,表明地下水中Sr来源于地下水对岩石的溶解作用。

从Sr、Mn、Zn元素组成的三角图(图4)分析表明,松辽盆地北部地层水中这三种微量元素分布范围不集中,其中姚家组(K_2y)、青山口组(K_2qn)和沙河子组(K_1sh)的地层水富集于Sr端元,贫乏Zn(<20%),这是由本身的沉积条件所决定。蔡春芳等^[14]

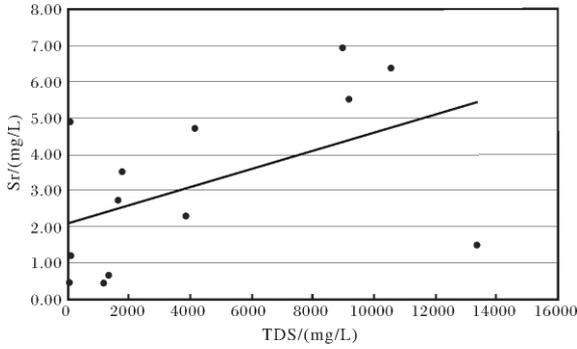


图 3 松辽盆地北部地层水 TDS - Sr 关系图
Fig. 3 Variations of TDS with Sr concentration of formation water in the north of Songliao Basin

对塔里木盆地油田水研究认为,沉积于海相环境下的储层油田水富 Sr、贫 Mn,陆相环境下的储层油田水富 Mn。从微量元素 Sr、Mn、Zn 元素组成三角图中可见,青山口组的地层水明显具有沉积于海相环境下的地层水特征,泉头组(K_{2q})和营城组(K_{1yc})的部分地层水样显示出较高的 Mn(>50%),则是受陆相沉积环境影响的缘故。

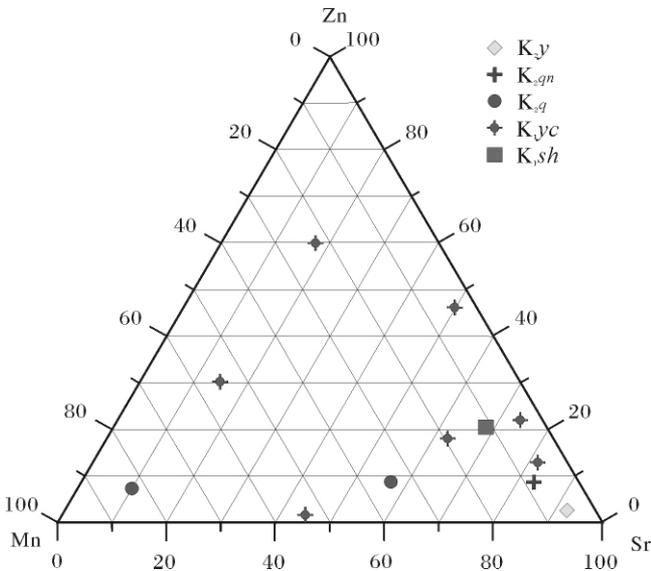


图 4 松辽盆地北部地层水中 Sr、Mn、Zn 元素组成三角图
Fig. 4 Triangular plot of Sr, Mn and Zn element composition of formation water in the north of Songliao Basin

目前普遍认为,海水的锶和岩石的锶同位素组成主要是受壳源和幔源两种来源锶的控制。壳源锶主要由大陆古老岩石风化提供,壳源的硅铝质岩石具高的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值(平均为 0.720 ± 0.005),但锶浓度较低;幔源锶主要由洋中脊热液系统提供,幔源的镁铁质岩石具低的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值,全球⁸⁷Sr/⁸⁶Sr平均值为

0.7035^[15]。因此,⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值的大小是反映不同源区物质的标记特征。

如图 5 所示,按不同层位、不同深度作⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值分布图,整体上,⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值与层位和深度并没有表现出显著的相关性,这也说明了流体活动及其与岩石相互作用的复杂性。(1)地层水江 76-I、江 76-II 和金 84 样品地层水的均较小且远远小于现代海洋的 0.709 073,甚至还低于显生宙以来海洋中⁸⁷Sr/⁸⁶Sr演化的最低值 0.707^[16,17];嫩江组地层水中,江 76-I 的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr为 0.707 04,江 76-II 的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值为 0.706 62,二者相差较大,反映出这两口井区的水动力体系相关性较差或成因不同。另外,金 84 的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr与江 76-II 相差不大,赋存于不同时代地层中的地层具有相似的锶同位素组成,这表明在分析地层水成因时,不能简单地将地层水按不同地质时代划分对比,而应考虑其水文地质旋回或与储层相关的流动单元等因素。(2)岩样的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值为 0.707 94~0.713 24,皆集中在 0.7092 附近,介于壳源(平均为 0.720 ± 0.005)与幔源(0.703 5)^[15]之间,大于地层水的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值。从各个层位来看,嫩江组(K_{2q})岩样的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值最接近于现代海水锶同位素值(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr = 0.709 073)^[18]。

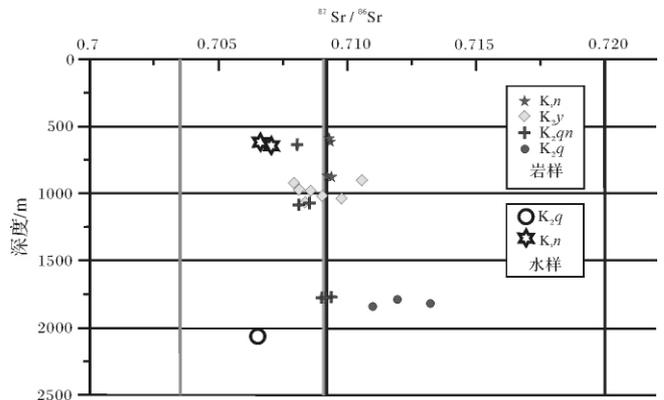


图 5 松辽盆地北部地层水与岩石⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值分布图
Fig. 5 Variations of ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios of formation water and rock with depth in the north of Songliao Basin

地层水的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值分布范围较集中,说明具有同源性,而对于岩盐,除泉头组岩样的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值稍高外,其他层位岩样的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值分布范围也较集中,说明都具有同源性,而泉头组岩样则不同源。壳源的硅铝质岩石具有较高的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值(平均为 0.720 ± 0.005),对于泉头组岩盐的高⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值应是壳源硅铝质岩石影响的结果。地层水的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr

值略低而 Sr^{2+} 含量又较高,说明存在高 Sr^{2+} 含量低 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值流体端元的影响,而这一端元只可能是幔源的深部水。在对松辽盆地北部地层水微量元素进行分析得到,松辽盆地北部地层水中,地层水富集于 Sr 端元,贫乏 Zn,故松辽盆地北部地层水应该是高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值流体端元与低 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值流体端元的混合,即地表来源水与深部水的混合。松辽盆地深部地层为火山成因,松辽盆地地层水可能也更多地受到高 Sr^{2+} 含量低 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的火山—地热水($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值)等幔源深部水的补给。

总之,地层水的形成,应主要以地表水(大气降水)为主,通过深大断裂循环,淋滤溶解地表以及地下各种岩石、矿物,发生水—岩相互作用,形成高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值流体与深部来源的低 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值地质流体(火山—地热水)混合而成。

4 结论

(1) 地层水氢、氧同位素分析结果表明,位于盆地西部地区地层水明显受到古大气降水的影响,中央凹陷地区 $\delta^{18}\text{O}$ 正偏移可能是由水岩作用加强引起的。地层水为大气水与原生沉积水的混合,较轻的 δD 值反映出原始沉积水属陆相沉积水。

(2) 地下水中 Sr 的浓度随 TDS 的增加而增加, Sr 来源于地下水对岩石的溶解作用。泉头组(K_2q)和营城组(K_1yc)的地层水具有陆相沉积环境下的地层水特征。青山口组的地层水明显具有沉积于海相环境下的地层水特征,泉头组和营城组的地层水显示出陆相沉积环境下的地层水特征。

(3) 不同层位地层水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值分布范围较集中,具有同源性;对于除泉头组的岩盐外,其他层位岩样的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值分布范围也较集中,都具有同源性,而泉头组岩样则不同源,泉头组岩盐的高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值应是壳源硅铝质岩石影响的结果。

(4) 地层水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值略低而 Sr^{2+} 含量又较高,地层水富集于 Sr 端元,贫乏 Zn,为高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值流体端元与低 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值流体端元的混合,即地表来源水与深部水的混合,可能也更多地受到高 Sr^{2+} 含量低 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的火山—地热水($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值)等幔源深部水的补给。

参考文献(References)

1 Kharaka Y K, Hanor J S. Deep fluid in the continents: I. Sedimentary

- Basins [J]. *Treatise on Geochemistry*, 2003, 5: 499-540
- 2 Worden R H, Coleman M L, Matraj J M. Basin scale evolution of formation water: A diagenetic and formation water study of the Triassic Chaunoy Formation, Pairs Basin [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1999, 63(17): 2512-2528
- 3 Fisher J B, Boles J R. Water rock interaction in Tertiary sandstones, San Joaquin basin, California, USA: Diagenetic controls on water composition [J]. *Chemical Geology*, 1990, 82: 83-101
- 4 Davisson M L, Criss R E. Na-Ca-Cl relations in basinal fluid [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1996, 60(15): 2743-2752
- 5 Barnaby R J, Oetting G C, Gao G Q. Strontium isotopic signatures of oil-field waters: Applications for reservoir characterization [J]. *AAPG Bulletin*, 2004, 88(12): 1677-1704
- 6 王大锐. 油气稳定同位素地球化学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000: 18-112 [Wang Darui. *Hydrocarbon Stable Isotope Geochemistry* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000: 18-112]
- 7 高瑞祺, 蔡希源, 等. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 47-103 [Gao Ruiqi, Cai Xiyuan, et al. *Formation Condition and Distribution Regularity of the Oil Field in Songliao Basin* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 47-103]
- 8 王东坡, 刘招君, 刘立. 松辽盆地演化与海平面升降 [M]. 北京: 地质出版社, 1994 [Wang Dongpo, Liu Zhaojun, Liu Li. *The Evolution and Eustatic Sea Level Change of Songliao Basin* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994]
- 9 孙杉, 谢家声, 李桂茹, 等. 冀中拗陷地下水的氢和氧同位素组成与成因 [J]. *石油与天然气地质*, 1982, 3(3): 240-250 [Sun Shan, Xie Jiasheng, Li Guiru, et al. *Hydrogen and oxygen isotopic composition and genesis of the ground water in Jizhong Depression* [J]. *Oil & Gas Geology*, 1982, 3(3): 240-250]
- 10 李伟, 赵克斌, 刘崇禧. 含油气盆地水文地质研究 [M]. 北京: 地质出版社, 2008 [Li Wei, Zhao Kebin, Liu Chongxi. *Study of Hydrogeology of Petroliferous Basin* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008]
- 11 Craig H. Isotopic variations in meteoric waters [J]. *Science*, 1961, 133: 1702-1703
- 12 刘进达, 赵迎昌, 刘恩凯. 中国大气降水稳定同位素时空分布规律探讨 [J]. *勘察科学技术*, 1997, 3: 34-39 [Liu Jingda, Zhao Yingchang, Liu Enkai, et al. *Discussion on the stable isotope time-space distribution law of China atmospheric precipitation* [J]. *Site Investigation Science and Technology*, 1997, 3: 34-39]
- 13 Kerry Kelts, Lacustrine basin analysis and correlation by strontium isotope stratigraphy [C]. *Abstract of 13rd International Sedimentary*, 1987
- 14 蔡春芳, 梅博文, 马亭, 等. 塔里木盆地流体-岩石相互作用研究 [M]. 北京: 地质出版社, 1997 [Cai Chunfang, Mei Bowen, Ma Ting, et al. *Approach to Fluid-rock Interaction in Tarim Basin* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997]
- 15 Palmer M R, Elderfield H. Sr isotope composition of seawater over the past 75 Myr [J]. *Nature*, 1985, 314(6011): 526-528
- 16 Burke W H, Denison R E, Hetherington E A, et al. Variation of

- $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ throughout Phanerozoic time [J]. *Geology*, 1982, 10: 516-519
- 17 Veizer J, Buhl D, Diener A, *et al.* Strontium isotope stratigraphy: potential resolution and event correlation [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1997, 132: 65-77
- 18 Denison R E, Koelpnick R B, Burke W H, *et al.* Composition of the Mississippian, Pennsylvanian and Permian seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ curve [J]. *Chemical Geology*, 1994, 112: 145-167

Isotopic Characteristics of Formation Waters in the North of Songliao Basin and Its Geological Significances

SHI Ting-ting¹ CHENG Jian-mei¹ XIE Xi-nong² ZHANG Xiao-yu³

(1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074;

2. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074;

3. Department of Geological Prospecting & Roadbed Design, China Railway First Survey and Design Institute, Xi'an 71004)

Abstract: The basin fluid is the very active factor in the sedimentary basins. The hydrogeochemistry is mainly controlled by fluid rock interaction. The source and genesis of the formation water are very complex. It is difficult to determine the genesis and source just according to the general component ions concentration and the interrelationship of ions. In this case, it is necessary to combine the trace elements and isotopic components to explain the genesis and source of the formation water. Applying isotopic chemistry method to research the formation water, in order to find the source, carry out the intensity of water-rock interaction, trace fluid flow direction, and compute the paleotemperature, age and residence time of the basin fluid. Based on hydrogeochemical characters of formation water and analysis of Sr-D-O isotope data, this article researches on the northern area of Songliao Basin, discusses the relationship of water-rock interaction and Sr-D-O isotope. It is of great theoretical significance for the isotope tracers in the enrichment of water-rock interaction. The result of the hydrogen-oxygen isotope testing suggests that formation water in the western area is evidently influenced by the ancient precipitation, and the positive excursion of the $\delta^{18}\text{O}$ in the central depression is probably caused by the strengthening of water-rock interaction. The formation water is a mixture of meteoric water and primary sedimentary water, the slight value of the δD reflects the original sediment belongs to the continent depositional water. In the groundwater, the concentration of Sr^{2+} increases with TDS, Sr comes from the dissolution of rock dissolved by groundwater. The groundwater from Quantou Group (K_2q) and Yingcheng Group (K_1yc) has same character as the continent depositional water. Meanwhile, the groundwater from Qingkoushan Group shows the character of the sea depositional water obviously. The groundwater from Quantou Group and Yingcheng Group shows the character of the continent depositional water obviously. The distribution range of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values from different formation water is concentrated, and has homologue. In all salt rocks, except those from Quantou Group, the distribution range of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values from different formation rock is also concentrated, and has the same type of source. The salt rocks from Quantou Group are from distinct source and the higher value of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ should be inflected by the silicon-aluminium rock from the crust source. The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ value of formation water is slightly lower but the concentration of Sr^{2+} is higher, the formation water is a mixture of high $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ value fluid end member and low $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ value fluid end member—a mixture of surface source water and deep formation water, which is also obtained from mantle deep water like high Sr^{2+} value and low $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ value volcanic geothermal water.

Key words: formation water; water-rock interaction; Sr-D-O isotope; Songliao Basin