

川西坳陷须二气藏气田水成因、运移及其成藏演化

康保平¹, 黄小燕², 郭淑萍³, 李 振⁴

- (1. 中国石化西南油气分公司勘探开发研究院, 四川成都 610041; 2. 成都信息工程大学, 四川成都 610001;
3. 中国石化集团西南石油局有限公司培训中心, 四川成都 610081;
4. 中国石油东方地球物理勘探有限责任公司西南物探分公司, 四川成都 610213)

摘要:西南油气分公司在川西建产的新场和大邑须二气藏投产后, 气水关系复杂。为此, 引用洛瓦克(Novk)相图分析法及气田水氘、氧同位素特征判别气田水产层及其成因类型, 分析了气田水的动态运移, 研究了川西须二气藏的成藏演化。结果表明: 新场须二气藏气田水为须下盆雷口坡组的海相成因地层水, 其形成时封闭较好, 但因后期受构造运动影响使保存条件变差, 下盆雷口坡组海相成因地层水运移至须二气藏, 造成现今的气田水为海相成因地层水; 大邑须二气藏气田水由须家河组原始沉积水逐渐变为须下盆雷口坡组的海相成因地层水, 其形成时封闭性好, 还原彻底, 属于典型的古沉积水, 但因提产致使须下盆雷口坡组的海相成因地层水沿控制大邑构造的断层运移至须二段, 须家河组原始沉积水逐渐被须下盆雷口坡组的海相成因地层水替代, 与大邑须二气藏现今气田水动态特征相吻合。成藏演化表明: 新场、大邑须二气藏经历的成藏阶段不同, 受裂缝系统影响不同, 形成了不同类型的气藏。新场、大邑须二气藏气田水类型及动态特征不同是成藏演化的结果。

关键词:成藏演化; 动态运移; 气田水; 须二气藏; 川西坳陷

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Origin, migration, and accumulation evolution of reservoir water in the gas field with Xu 2 gas reservoir, western Sichuan Depression, Sichuan Basin

Kang Baoping¹, Huang Xiaoyan², Guo Shuping³, Li Zhen⁴

- (1. Exploration and Development Research Institute, SINOPEC Southwest Company, Chengdu, Sichuan 610041, China;
2. Chengdu University of Information Technology, Chengdu, Sichuan 610001, China;
3. Training Center, SINOPEC Southwest Petroleum Bureau, SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610081, China;
4. Southwest Geophysical Exploration Company of Bureau of Geophysics Prospecting Inc., CNPC, Chengdu, Sichuan 610213, China)

Abstract: The gas reservoirs of Xu 2 developed by SINOPEC Southwest Company in Xinchang and Dayi were put into production, with the quite complicated distribution of gas/water. Therefore, adopting American hydrogeologists Novk's Phase diagram analysis and characteristics of deuterium and oxygen isotopes in gas field water, we identified the production formation of gas field water and its origin, analyzed the dynamic migration of gas field water, and investigated the evolution of gas accumulation in the western Sichuan Depression. The results show that (1) the gas field water of Xu 2 gas reservoir in Xinchang is originally marine formation water in the lower strata of the Xuxiahe Formation and Leikoupo Formation, which was in closed conditions initially but migrated into Xu 2 gas reservoir due to the change of preservation conditions caused by structural movement of later period, resulting in the present gas field water; (2) the gas field water of Xu 2 gas reservoir in Dayi changes gradually from the original deposition water in Xujiahe Formation to the marine formation water in the strata lower of the Xujiahe Formation and Leikoupo Formation. The water was well sealed and under thorough reduction conditions, which is typical of paleo-sedimentary water. But due to the increasing production of Xu 2 gas reservoir there, the marine formation water of Leikoupo Formation in the lower strata has migrated into the 2nd member of the Xujiahe Formation along faults controlling Dayi structure, replacing the paleo-sedimentary water of Xujiahe Formation. This scenario explains the present dynamic characteristics of gas field water in Xu 2 gas reservoir of Dayi. The accumulating evolution shows that Xu 2 gas accumulating process and the influence from fractures in Xinchang are

different from those in Dayi, thereby generating different types of gas accumulations. Accordingly, the types and dynamic characteristics of gas field water in Xu 2 gas reservoir in Xinchang are different from those in Dayi.

Key words: accumulation evolution, dynamic migration, gas field water, Xu 2 gas reservoir, western Sichuan Depression

川西坳陷经历了早期的被动大陆边缘盆地、印支期的局限前陆盆地、燕山期的类前陆盆地和喜马拉雅期构造残余盆地演化^[1],形成了“三带两凹”的构造格局,即大邑-鸭子河构造带、新场构造带、知新场-中江-回龙构造带、成都凹陷和梓潼凹陷。西南油气分公司先后在新场、大邑构造带建成了须家河组二段气田,即:新场气田和大邑气田。投产后,新场和大邑气田气井出水时间、水量、水型均不相同,表现为气水关系复杂^[2]。

本文以新场、大邑须二气藏为研究对象,利用气田水动态运移为直接介质,对新场、大邑须二气藏气田水成因、动态运移和成藏演化等方面进行对比,弄清造成新场、大邑须二气藏差异的根本原因,为西南油气分公司探区须二气藏提供理论依据,为进一步拓宽勘探开发提供导向。

1 川西坳陷须二气藏气田水类型

流体是联系各种地质要素和过程最为直接和活跃的媒介,流体的流动为油气的运移和聚集提供动力、通道和场所^[3]。水总是与生烃母岩和油气相伴生的,它

们在地史过程中互相依存、相伴演化。水是油气生成、运聚的载体,油气运聚成藏是水在地史进程中循环活动的结果,水也是油气现代分布和保存条件评价预测的重要内容^[4]。

理论上,地层水来源有3个主要相应端元:原始沉积水、海相成因地层水和后期渗入淡水^[3]。本文引用美国水文地质学家洛瓦克(Novk)相图分析法来判定川西须二气藏气田水的产层及类型^[5]。该方法能快速有效地判别气田(卤)水产层及其化学特征,分析气田(卤)水运移的受控条件及有关组分的分布源点,是一种方便经济,又快速有效的方法^[5]。

1.1 新场须二气藏气田水类型

新场构造位于四川盆地西部坳陷中段孝泉-新场-合兴场-丰谷北东东向构造带中段。2000年X851井在上三叠统须家河组须二(T_3x^2)获得了高产工业气流,发现了新场须二气藏。

对比新场须二气藏各井气田水的洛瓦克(Novk)相图与四川盆地标准剖面,新场须二气藏气田水对应的端元为海相成因地层水,即中三叠统雷口坡组(T_2l)的海相成因地层水(图1)。

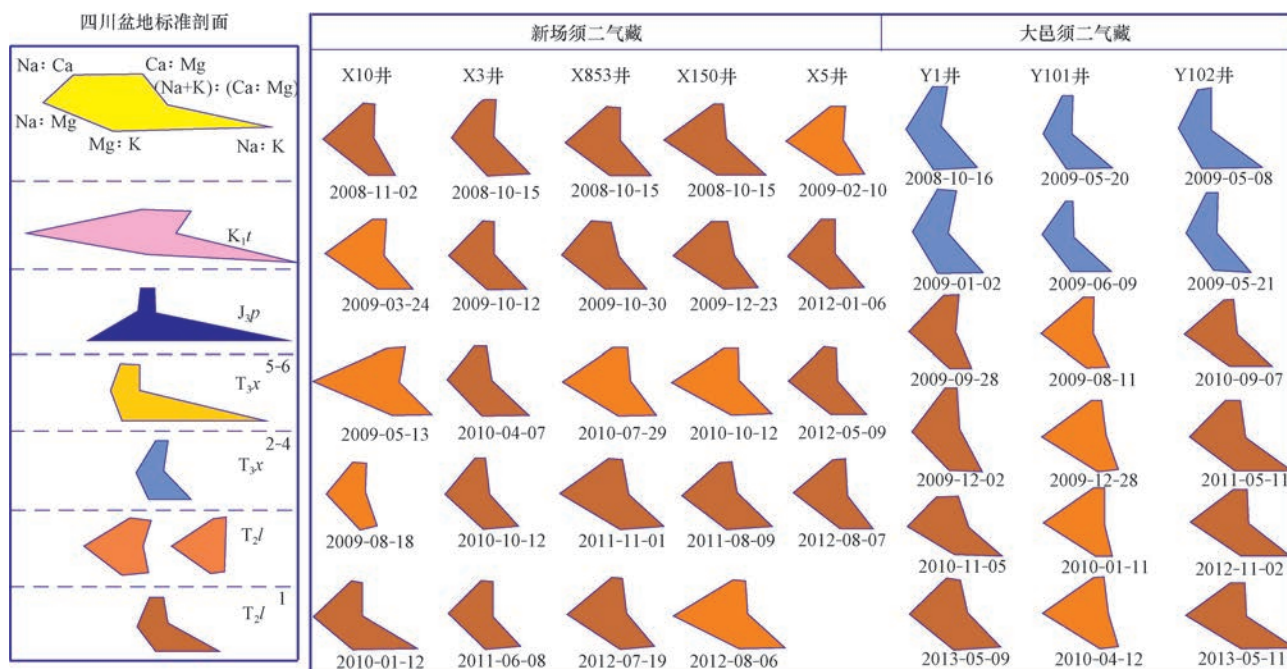


图1 新场、大邑须二气藏各井洛瓦克相图

Fig. 1 Novk's phase diagrams of wells in Xinchang, Dayi gas reservoir

1.2 大邑须二气藏气田水类型

大邑构造位于龙门山冲断带内前缘隐伏构造带,是龙门山前缘隐伏构造带内的局部构造。2005年Y1井在上三叠统须家河组须二(T_3x^2)段获得工业气流,发现了大邑气藏。

对比大邑气藏各井气田水的洛瓦克(Novk)相图与四川盆地标准剖面,大邑气藏气田水对应的端元为原始沉积水和海相成因地层水,即须家河组原始沉积水和须下盆雷口坡组的海相成因地层水(图1)。

1.3 新场、大邑须二气藏气田水氦、氧同位素特征

通常情况,气田地层水与油气共存于同一个地质体形成气水同产现象,但因气田地层水因赋存层系和沉积演化等不同,其水化学及同位素地球化学特征各异^[6]。前人研究表明新场须家河组二段水离子组合特征显示出海相地层水(沈忠民等,2010)。为了进一步识别新场、大邑气田水成因类型,利用地层水氦、氧同位素分析值,以雨水氦、氧同位素变化规律遵循全球大气降水直线方程($\delta D = \delta^{18}O + 10$)关系,视气田地层水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 值的落点判断其成因。大邑须二气藏提产后的气田水氦、氧同位素与新场须二气藏气田水落在相同区间,表明均为海相地层水;大邑须二气藏提产前的气田水氦、氧同位素值落点位于大气降水线左边,表明保存了初始同位素值,代表原始沉积赋存水(图2)。说明成藏后次生水的冲刷影响小,也可能代表未被构造运动破坏的原生气藏^[7]。

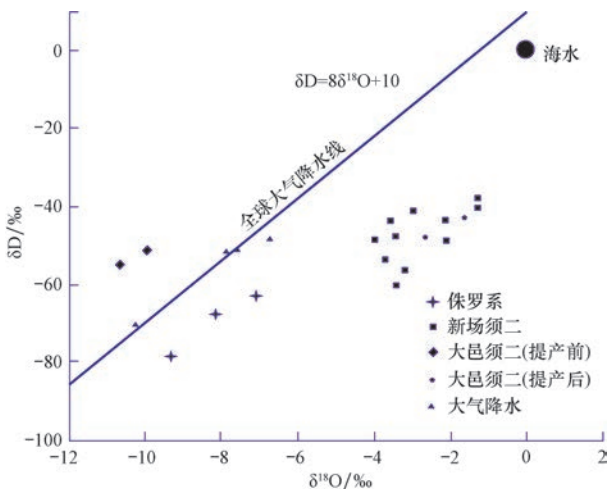


图2 川西坳陷新场、大邑须二气田水氦、氧同位素关系

Fig. 2 Diagram of deuterium and oxygen isotopes of Xu 2 gas reservoir in Xinchang and Dayi in western Sichuan Depression

对比发现,洛瓦克(Novk)相图分析结果与气田地层水氦、氧同位素特征的结果是相吻合。

2 川西坳陷须二气藏气田水成因

流体(地层水和油气)的流动是沉积盆地内物质和能量传输的重要过程。油气田地层水可以提供流体成因、流动和水-岩相互作用的重要信息^[8]。在油气生成、运移、聚集、保存和散失过程中,地层水与油气之间存在物质与能量的交换,蕴含了许多与油气藏形成和保存的相关信息^[9]。地层水化学特征与油气的生、运、聚、散过程有着十分密切的关系^[10],能直接反映油气保存条件的好坏。本文采用钠氯系数、肖勒系数和脱硫系数(系数中的 r 为摩尔浓度)判断新场、大邑须二气藏气田水成因^[8-11]。

1) 钠氯系数(r_{Na^+}/r_{Cl^-})

通常地下水封闭性越好、越浓缩、变质越深,其比值就越小,反映保存越有利。当 r_{Na^+}/r_{Cl^-} 大于0.85时地层水为 $CaCl_2$ I型,反映保存条件差;当 r_{Na^+}/r_{Cl^-} 为0.85~0.75时地层水为 $CaCl_2$ II型,反映保存条件较差;当 r_{Na^+}/r_{Cl^-} 比值小于0.5时地层水为 $CaCl_2$ V型,属于原始沉积-高度变质水,反映保存条件好。

2) 肖勒系数(IBE)

当水中 $Cl^- > (Na^+ + K^+)$ 时,水中的 $Na^+ + K^+$ 与岩石吸附的 Mg^{2+} 或 Ca^{2+} 发生交换,使 $Na^+ + K^+$ 减少,所以 $Na^+ < Cl^-$;当水中的碱土金属与岩层中的碱土金属离子交换时,因 $Na^+ + K^+$ 增加,导致 $Cl^- < (Na^+ + K^+)$,则IBE为负值。其公式为:

$$IBE = \frac{Cl^- (Na^+ + K^+)}{SO_4^{2-} + HCO_3^- + CO_3^{2-}} \quad (1)$$

资料统计表明,古沉积水的油气田水IBE大于0.129;油气田水中含有渗入水时,IBE值小于0.129。

3) 脱硫系数($100r_{SO_4^{2-}}/r_{Cl^-}$)

通常认为脱硫系数越小,反映地层水封闭性越好,越有利于油气的保存。脱硫系数小于1,认为地层水还原彻底,埋藏于封闭良好的地区;反之,则认为还原作用不彻底,可能受浅表层氧化作用的影响。

2.1 新场须二气藏气田水成因

新场须二气藏气田水 r_{Na^+}/r_{Cl^-} 为0.50~0.63,表明其保存条件较差;IBE值为0.34~406.17,大于0.129,属于典型的古沉积水;脱硫系数均为小于1,反映气田水形成时封闭性好(表1)。

地层水蕴含的与油气藏形成和保存的相关信息及地层水的活动和性质直接或间接指示了流体系统的开放性和封闭性^[10]。川西前陆盆地形成和演化过程中经历了多次构造运动,导致各层系间流体混合作用强烈(李巨初等,2001;刘树根等,2005),不同层位之间气水存在一定的联系。新场须二气藏气田水为须下盆雷口坡组的海相成因地层水,是因为雷口坡组海相成因地层水后期保存条件较差而运移至须二气藏,使得新场须二气藏气田水为雷口坡海相成因地层水。

2.2 大邑须二气藏气田水成因

大邑须二气藏气田水 r_{Na+}/r_{Cl-} 为 0.20 ~ 0.49,属于保存条件好的原始沉积-高度变质地层水; IBE 为 4.07 ~ 84.88 (远远大于 0.129),属于典型的古沉积水;脱硫系数为 0.004 ~ 0.97 (<1),表明其形成时埋藏于封闭良好的地区,还原彻底,属于典型的古沉积水(表1)。试采中,大邑须二气藏气田水由须家河的古沉积水变化为须下盆雷口坡组的海相成因地层水。以 Y1 井为例分析其动态变化。

Y1 井生产阶段分为稳产阶段和提产阶段。稳产阶段,气田水钠氯系数为 0.2 ~ 0.28,脱硫系数为 0.87 ~ 0.81,肖勒系数为 35.74 ~ 72.92,化学特征表现为典型的须家河组原始沉积水(图2;表1)。提产后,

气田水钠氯系数变化从 0.36 升至 0.6,脱硫系数为 0.06 ~ 0.11,肖勒系数变化从 73.59 降为 13.98。地层水由须家河原始沉积水变化为须下盆雷口坡组的海相成因地层水。与须家河原始沉积水相比,海相成因地层水其形成时保存条件较差。在这一点上,新场和大邑地区海相成因地层水是一致(图3)。由此可见,Y1 井提产打破了原有的稳定生产状态,使两种原本隔离的地层水发生了纵向联系,雷口坡组的海相成因地层水随着断层上窜^[12],逐渐替代了须家河原始沉积水。

川西坳陷为龙门山推覆构造带的前陆盆地,其基底为中三叠统海相灰岩,向上依次为上三叠统马鞍塘组、小塘子组、须家河组、陆相煤系地层及侏罗系至白垩系陆相红层^[13]。一方面,控制大邑构造的断层向上均未断开下侏罗统区域盖层,保存条件好;成藏期间,烃源岩生成的天然气沿孔隙性通道和断层等运移,在须二段、须三段和须四段内聚集^[10],此时,气藏伴生水为须家河组原始沉积水;另一方面,控制大邑构造的断层向下断过须家河组进入三叠系含盐系地层,沟通了三叠系海相和陆相的主要烃源岩地层,对深埋地腹的气源垂向运移乃至油气聚集成藏都起到了非常重要的通道作用。提产破坏了气藏平衡,须下盆雷口坡组的海相成因地层水随着断层上窜并产出^[12](图4)。

表 1 大邑、新场须二气藏各井气田水化学特征参数

Table 1 Chemical characteristic parameters of produced gas field water of Xu2 gas reservoir in Xinchang and Dayi

地区	井名	采样日期	钠氯系数	脱硫系数	肖勒系数	地区	井名	采样日期	钠氯系数	脱硫系数	肖勒系数
新场地区	X10 井	2009-02-03	0.50	0.11	14.38	大邑地区	Y1 井	2009-01-12	0.20	0.87	35.74
		2010-01-12	0.55	0.75	9.51			2009-09-28	0.28	0.81	72.92
	X3 井	2008-07-09	0.51	0.02	86.19			2010-04-04	0.36	0.06	73.59
		2009-04-09	0.53	0.10	63.32			2010-11-05	0.57	0.06	36.89
		2010-04-07	0.56	0.03	79.51			2013-05-09	0.60	0.11	13.98
	X853 井	2008-07-09	0.54	0.01	35.16		Y101 井	2009-06-09	0.36	0.08	44.51
		2009-06-23	0.54	0.09	67.46			2009-08-11	0.34	0.51	67.46
		2011-06-14	0.55	0.10	67.94			2009-12-28	0.38	0.05	84.88
	X150 井	2009-04-09	0.54	0.69	7.42			2010-04-12	0.37	0.04	61.53
		2010-02-25	0.63	0.88	0.04			2009-09-21	0.46	0.35	22.40
		2012-05-09	0.62	0.53	0.40			2010-04-05	0.49	0.87	7.42
	X5 井	2009-02-22	0.53	0.04	50.36		Y102 井	2010-05-19	0.49	0.21	4.07
		2010-04-07	0.54	0.10	406.17			2013-05-07	0.47	0.15	10.68
		2012-01-06	0.58	0.19	52.50			2015-04-01	0.48	0.39	17.81

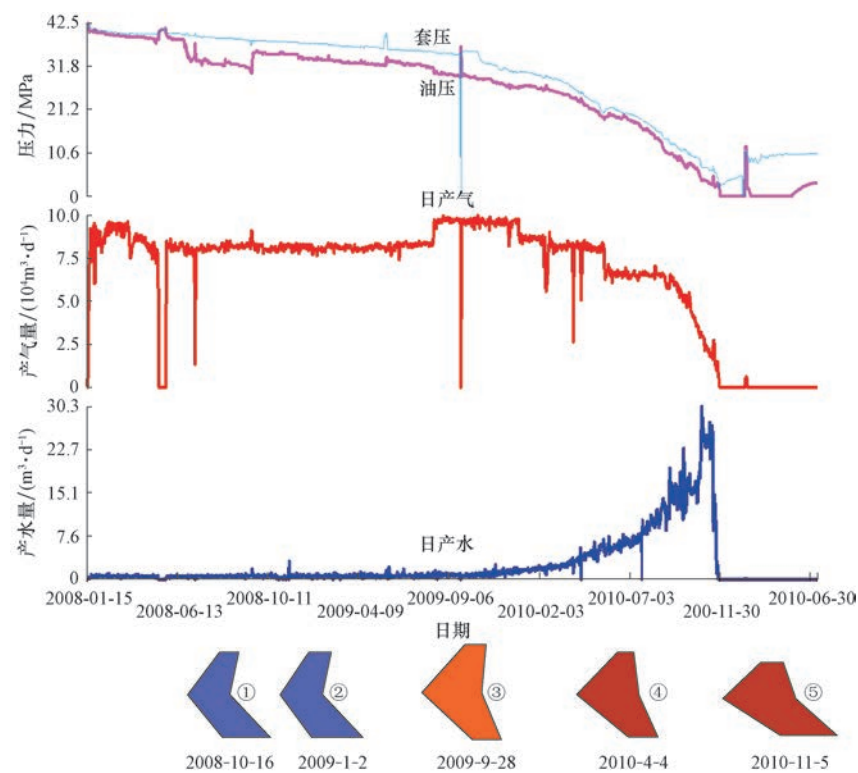


图 3 大邑须二气藏 Y1 井采气曲线及洛瓦克相图(①,②原始沉积水;③—⑤海相成因地层水)
Fig. 3 Gas productivity curve and Novk's phase diagram of well Y1 of Xu 2 gas reservoir in Dayi
(①,②original formation water;③—⑤the marine formation water)

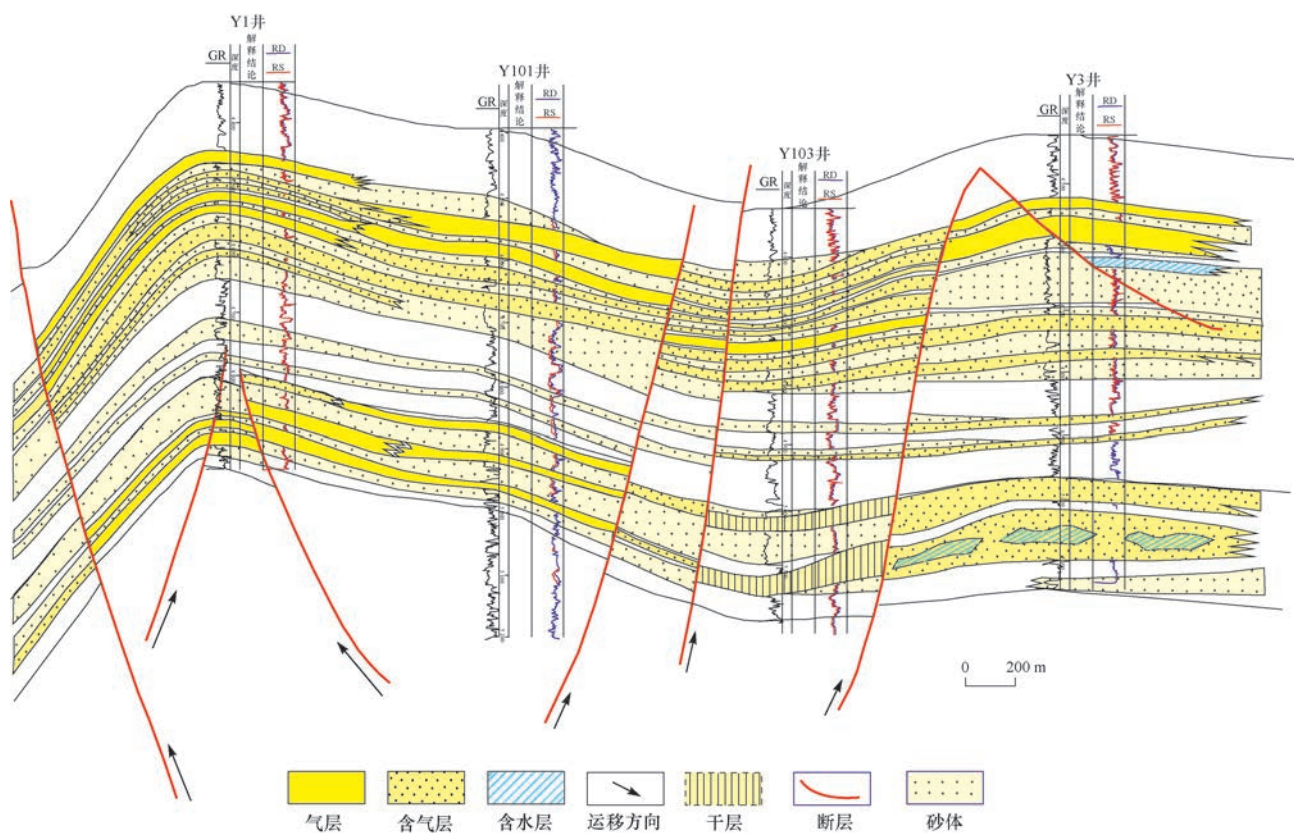


图 4 大邑须二气藏流体运移图
Fig. 4 Fluid migration of Xu 2 gas reservoir in Dayi

3 川西坳陷须二气藏成藏演化

3.1 川西坳陷须二气藏断裂发育情况

据前人研究,川西坳陷经历了多次构造运动,最具影响的构造活动有印支(晚)期构造、燕山期和喜马拉雅期构造运动^[14]。构造运动中形成的断裂有4期^[14-15]:第一期,印支早中期形成的EW向断裂系统,主要分布于孝泉-新场-合兴场-丰谷及回龙地区,断裂比较简单,规模不是很大;第二期,印支晚期-燕山中期形成的NE向断裂系统,是川西前陆盆地发育最多、分布最广的断裂,对川西前陆盆地的形成和演化影响深刻;第三期,燕山晚期-喜马拉雅早期形成的断裂系统。断层规模小,主要分布于知新场、大邑构造等局部地区。新场地区发育NNE断裂系统,大邑地区发育EW和SN断裂系统;第四期,喜马拉雅晚期形成的断裂系统,在孝泉-新场-丰谷等地为SN断裂系统,

而大邑地区该期构造运动表现为扭构造运动,未形成新的断裂^[16](图5)。因此,川西坳陷新场、大邑须二气藏构造形变、裂缝影响均不同。

3.2 川西坳陷须二气藏成藏演化

有机包裹体是油气生成、运移和聚集的直接标志,是油气运移聚集过程的原始记录,这些记录一般不会因后期继承性的叠加改造而消失^[17]。通过对这些流体包裹体中的烃类组分分析,可大致推断其聚集时期。前人研究表明:川西坳陷三叠统须家河组生烃期开始于印支晚期,主要排烃期是燕山中、晚期^[5,14,18],主要成藏期在燕山期-喜马拉雅期^[19]。依据浙江大学鉴定有机包裹体均一温度,将川西坳陷须二段气藏主成藏期细化为 T_3 末、 J_1-J_3 , J_3 晚期- K_2 。

地层水与油气的运移、聚集和保存关系非常密切^[19]。由于地层水运动是油气运移聚散的动力和载体,油气的生成、运移、聚集、保存和散失都是在地层水的环境里或是在地层水的参与下进行的,地层水与油

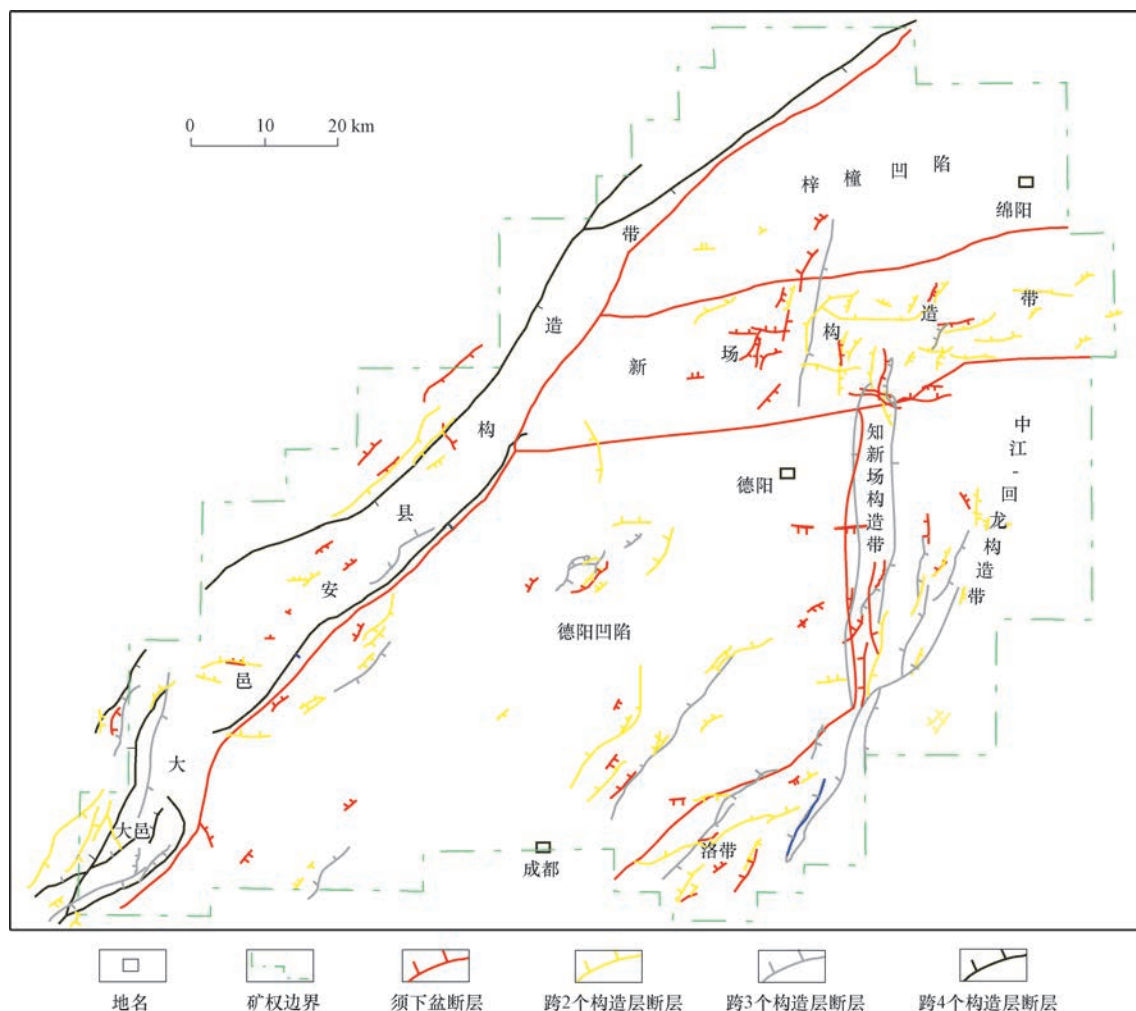


图5 川西坳陷须二气藏断裂分布

Fig. 5 Fracture distribution of Xu 2 in the western Sichuan Depression

气在地质历史进程中的活动是相互依存、制约的因果关系^[20]。结合新场、大邑构造埋藏史、热史、生烃史及川西构造演化、油气运移期次^[14,18],川西坳陷须二气藏经历了 3 个成藏期,即:印支中期—燕山早期(J_1),燕山早期(J_2)—燕山晚期和喜马拉雅期。第一成藏期,印支晚期开始生烃,有机质演化已进入石油窗阶段,油气为低熟油,流体为含有脱羧基酸性有机水和部分低熟油的混合流体。此时,新场、大邑构造处于雏形阶段,印支期构造运动形成 NE 构造裂缝为含有低熟油的混合流体泄压排放和运移聚集提供通道,使油气原地聚集形成自生自储的小型原始油气藏,即自生自储为主的原生油气藏阶段;第二成藏期,燕山中期生烃达到高峰,此时油气由低熟油变为成熟油,流体为小

型原始油气藏由构造初始隆升过程中释放的载烃油田水。此时,新场、大邑构造为发展阶段,印支晚期—燕山中期在新场、大邑形成的 NNE 和 EW,SN 断裂系统为原始油气藏的油气就近运移、聚集和形成较大规模的原生油气藏提供了通道条件;来自深部的高盐度地层水(来自中三叠统雷口坡组蒸发岩系)与原生油气藏泄压释放的载烃油田水混合物对原生油气藏进行破坏^[18],形成二次运移异地聚集形成早期次生油气藏,即油气二次运移、聚集和形成更大规模深部次生油气藏阶段;第三期成藏期,喜马拉雅晚期构造运动强烈,在新场形成 SN 向断裂系统,分支断层、褶皱和裂缝系统发育^[21],对储层具有很好的改造作用,对深部次生油气藏进一步改造,深部的高盐度地层水流体沿该期

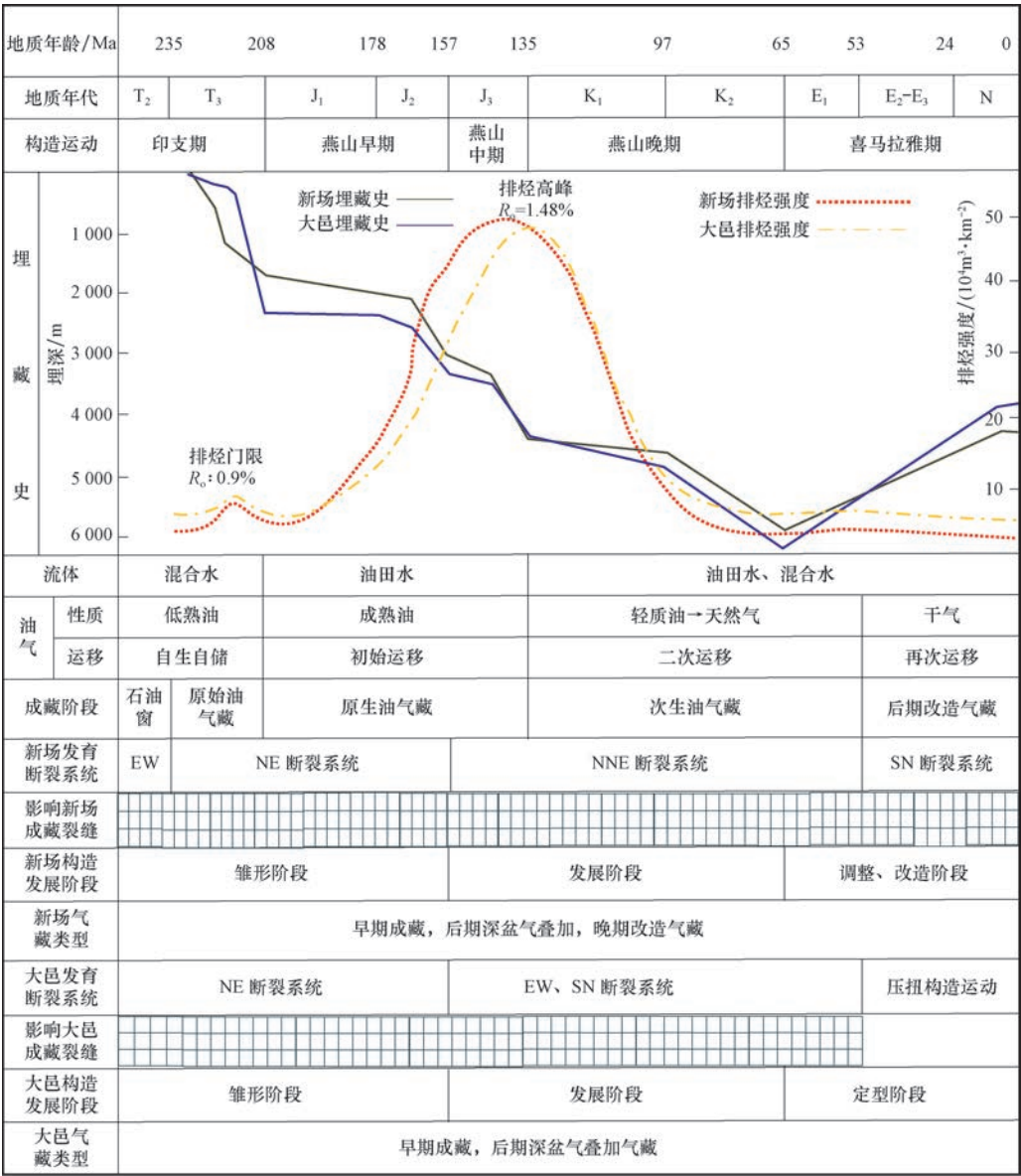


图 6 川西坳陷须二气藏成藏演化

Fig. 6 The evolution of Xu 2 reservoir gas accumulation in the western Sichuan Depression

构造裂缝由深部向浅部运移和聚集^[15],对深层早期形成的气藏进行了调整、改造(秦胜飞等,2007)。现今新场须二气藏的气田水为雷口坡组海相成因地层水(也可能存在未被构造破坏的原生气藏),佐证了喜马拉雅晚期构造对深部次生油气藏的改造。大邑地区该期构造运动表现为压扭构造运动,没有形成新的断裂,只是对早期形成的“X”型剪切缝进行了改造形成复合压扭性缝,多为封闭性断裂^[16]。大邑须二气藏气田水稳产期为须家河组原始地层水,佐证了该期构造对大邑须二气藏未进行改造(图1,图6)。

总体上,川西坳陷须二气藏形成及分布主要受控于早期构造(印支—燕山期),而晚期构造(主要是喜马拉雅期)仅对早期气藏起改造作用^[22]。新场须二气藏经历了早期成藏、后期深盆气叠加和晚期裂缝改造;大邑须二气藏只经历了早期成藏和后期深盆气叠加。由此可见,燕山成藏期为川西坳陷须二气藏的主要成藏期,喜马拉雅期仅对早期的气藏起调整、改造作用,川西坳陷须二气藏是多期影响的产物^[19]。

4 结论

1) 新场须二气藏气田水为雷口坡组的海相成因地层水,其形成时封闭性较好,但因后期保存条件变差雷口坡组海相成因地层水运移至须二气藏,造成现今的气田水为海相成因地层水。

2) 大邑须二气藏气田水由须家河组原始沉积水逐渐变为雷口坡组的海相成因地层水,其形成时封闭性,还原彻底,为典型的古沉积水,但因提产致使雷口坡组的海相成因地层水沿控制大邑构造的断层运移至须二段,须家河组原始沉积水逐渐被雷口坡组的海相成因地层水替代,与大邑须二气藏气田水动态变化特征相吻合。

3) 成藏演化表明,新场须二气藏经历了早期成藏、后期深盆气叠加和晚期裂缝改造;大邑须二气藏只经历了早期成藏和后期深盆气叠加,由于经历的成藏阶段和构造运动影响不同,造成了新场、大邑须二气藏气田水类型及动态特征不同,是成藏演化的结果。

参 考 文 献

[1] 李智武,刘树根,林杰,等. 川西坳陷构造格局及其成因机制[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2009,36(6):645-653.
Li Zhiwu, Liu Shugen, Lin Jie, et al. Structural configuration and its genetic mechanism of the West Sichuan depression in China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology

Edition), 2009, 36(6): 645-653.
[2] 郝国丽,柳广弟,谢增业,等. 川中地区须家河组致密砂岩气藏气水分布模式及影响因素分析[J]. 天然气地球科学,2010,21(3): 427-434.
Hao Guoli, Liu Guangdi, Xie Zengye, et al. Gas-water distributed pattern in Xujiahe Formation tight gas sandstone reservoir and influential factor in central Sichuan Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(3): 427-434.
[3] 沈忠民,官亚军,刘四兵,等. 川西坳陷新场地区上三叠统须家河组地层水成因探讨[J]. 地质论评,2010,56(1): 82-88.
Shen Zhongmin, Gong Yajun, Liu Sibing, et al. A discussion on genesis of the Upper triassic xujiahe formation water in xinchang area, Western Sichuan Depression [J]. Geological Review, 2010, 56(1): 82-88.
[4] 汪泽成,李晓清,赵献文. 川西地区上三叠统气田水化学场特征[J]. 天然气工业,2001,21(5): 31-34.
Wang Zecheng, Li Xiaoqing, Zhao Xianwen. Gas field hydrochemical characteristics of the Upper Triassic in west Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 2001, 21(5): 31-34.
[5] 林耀庭,何金权,赵泽君. 诺瓦克水化学系数在川中地区上三叠统气田(卤)水产层判别的应用及意义[J]. 四川地质学报,2002,22(3): 146-148.
Lin Yaoting, He Jinquan, Zhao Zejun. The application and significance of Novack coefficient to discrimination of brine-bearing horizon in gas fields of the Upper Triassic series in central Sichuan region [J]. Acta Geologica Sichuan, 2002, 22(3): 146-148.
[6] 林耀庭,熊淑君. 氢氧同位素在四川气田地层水中的分布特征及其成因分类[J]. 海相油气地质,1999,4(4): 39-45.
Lin Yaoting, Xiong Shujun. Distribution characteristics and genetic classification of hydrogen and oxygen isotopes in the formation water of Sichuan gas field [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 1999, 4(4): 39-45.
[7] 沈忠民,官亚军,刘四兵,等. 川西坳陷新场地区上三叠统须家河组地层水成因探讨[J]. 地质论评,2010,56(1): 82-88.
Shen Zhongmin, Gong Yajun, Liu Sibing, et al. A discussion on genesis of the Upper Triassic Xujiahe Formation water in Xinchang Area, Western Sichuan Depression [J]. Geological Review, 2010, 56(1): 82-88.
[8] 刘树根,李国蓉,李巨初,等. 川西前陆盆地流体的跨层流动和天然气爆发式成藏[J]. 地质学报,2005,79(5): 690-699.
Liu Shugen, Li Guorong, Li Juchu, et al. Fluid cross formation flow and gas explosion accumulation in western Sichuan foreland Basin, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(5): 690-699.
[9] 官亚军,沈忠民,刘四兵,等. 川西坳陷新场地区须家河组地层水的地化特征研究[J]. 四川地质学报,2010,30(1): 72-74.
Shen Zhongmin, Gong Yajun, Liu Sibing, et al. Geochemical characteristics of formation water in the Xujiahe Formation in the Xinchang Area, West Sichuan Depression [J]. Acta Geologica Sichuan, 2010, 30(1): 72-74.
[10] 孙向阳,解习农. 东营凹陷地层水化学特征与油气聚集关系[J]. 石油实验地质,2001,23(3): 291-296.
Sun Xiangyang, Xie Xinong. Relationship between the chemical characteristics of formation water and hydrocarbon accumulation in the

- Dongying Sag[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2001, 23(3): 291–296.
- [11] 张琴,汪宗余,王广源,等. 永安地区地层水成因分析及与油气的关系[J]. *石油天然气学报*, 2009, 31(2): 174–178.
- Zhang Qin, Wang Zongyu, Wang Guangyuan, et al. [J]. Relationships between genetic analysis of formation water and oil and gas in Yong'an area[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2009, 31(2): 174–178.
- [12] 熊亮,康保平,史洪亮,等. 川西大邑气藏气田水化学特征及其动态运移[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2011, 33(5): 84–88.
- Xiong Liang, Kang Baoping, Shi Hongliang, et al. The chemical characteristics and its dynamic transportation of gas field water of dayi gas reservoir of the west of Sichuan [J]. *Journal of Southwest Petroleum University(Science & Technology Edition)*, 2011, 33(5): 84–88.
- [13] 郑荣才,李国辉,常海亮,等. 四川盆地东部上三叠统须家河组层序-岩相古地理特征[J]. *中国地质*, 2015, 42(4): 1024–1036.
- Zheng Rongcai, Li Guohui, Chang Hailiang, et al. Sedimentary sequence and paleogeographic characteristics of the Upper Triassic Xujiahe Formation in eastern Sichuan Basin [J]. *Geology in China*, 2015, 42(4): 1024–1036.
- [14] 皱云,张长厚,贾庆军. 川西坳陷合兴场、东泰、罗江地区构造演化及断裂活动期次[R]. 北京,中国地质大学,2010.
- Zou Yun, Zhang Changhou, Jia Qingjun. Tectonic evolution and fracture stage in Hexingchang, Dongtai and Luojiang area of the western Sichuan Depression [R]. Beijing, China University of Geosciences, 2010.
- [15] 马旭杰,周文,唐瑜,等. 川西新场地区须家河组二段气藏天然裂缝形成期次的确定[J]. *天然气工业*, 2013, 33(8): 15–19.
- Ma Xujie, Zhou Wen, Tang Yu, et al. Timing of natural fractures formed in the gas reservoirs of the 2nd member of Xujiahe Fm in the Xinchang area, Western Sichuan Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2013, 33(8): 15–19.
- [16] 熊亮,冉飞,何鲤,等. 大邑构造裂缝与成藏浅析[J]. *四川地质学报*, 2013, 33(4): 444–449.
- Xiong Liang, Ran Fei, He Li, et al. A brief talk on tectonic fracture and oil and gas entrapment in Dainyi [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2013, 33(4): 444–449.
- [17] 郑荣才,彭军,高红灿,等. 川西坳陷断裂活动期次、热流体性质和油气成藏过程分析[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2003, 30(6): 551–558.
- Zheng Rongcai, Peng Jun, Gao Hongcan, et al. Analysis of fracture active stages, heat fluid nature and the process of forming reservoir in western Sichuan Sag [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2003, 30(6): 551–558.
- [18] 李岩,王云鹏,赵长毅,等. 四川盆地上三叠统须家河组烃源岩埋藏史及热演化特征[J]. *地质通报科学*, 2013, 32(11): 1798–1805.
- Li Yan, Wang Yunpeng, Zhao Changyi, et al. Burial history and thermal evolution characteristics of source rocks of the Upper Triassic Xujiahe Formation, Sichuan Basin [J]. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(11): 1798–1805.
- [19] 周孝鑫,楼章华,朱蓉,等. 川西坳陷新场气田水文地质地球化学特征及天然气运聚[J]. *地质科学*, 2015, 50(6): 330–339.
- Zhou Xiaoxin, Lou Zhanghua, Zhou Rong, et al. Hydrogeology geochemical characteristics of continental formation water in Xinchang gas field, western Sichuan Depression and gas migration and accumulation [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2015, 50(6): 330–339.
- [20] 刘桂凤,王莉,李春涛,等. 准噶尔盆地腹部地层水化学特征与油气成藏关系[J]. *新疆石油地质*, 2007, 28(1): 54–56.
- Liu Guifeng, Wang Li, Li Chun, et al. Relationship Between chemical characteristic of formation water and hydrocarbon accumulation in hinter land of Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2007, 28(1): 54–56.
- [21] 王睿婧,刘树根,张贵生,等. 川西坳陷孝泉-新场-合兴场地区须二段天然气气源判定及成藏分析[J]. *岩性油气藏*, 2011, 23(4): 100–105.
- Wang Ruijing, Liu Shugen, Zhang Guisheng, et al. Judgement of natural gas resource and accumulation analysis of the second member of Xujiahe Formation in Xiaoquan-Xinchang-Hexingchang area of west Sichuan Depression [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2011, 23(4): 100–105.
- [22] 李智武,刘树根,陈洪德,等. 川西坳陷复合-联合构造及其对油气的控制[J]. *石油勘探与开发*, 2011, 38(5): 54–56.
- Li Zhiwu, Liu Shugen, Chen Hongde, et al. Structural superimposition and conjunction and its effects on hydrocarbon accumulation in the western Sichuan Depression [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2011, 38(5): 54–56.

(编辑 张玉银)