

文章编号:1001-6112(2012)01-0036-04

准噶尔盆地乌夏地区地层水与油气保存条件

谭开俊^{1,2}, 张帆¹, 尹路², 代冬冬², 齐雯²

(1. 西南石油大学 资源与环境学院, 成都 610500; 2. 中国石油勘探开发研究院 西北分院, 兰州 730020)

摘要:针对准噶尔盆地乌夏地区地质流体分布的复杂特征,从水文地质条件和地层水化学特征分析入手,剖析了地层水与油气保存条件的关系。研究认为,处于交替阻滞带和交替停止带的二叠系、三叠系的大气水下渗阶段时间较短暂,而压榨水阶段时间较长,且受深部热液影响大,地层水以CaCl₂和NaHCO₃水型为主,矿化度高,钠氯系数和脱硫酸系数低,属于未破坏或微破坏型,保存条件优越,有利于油气聚集收藏。

关键词:矿化度;水文地质;地层水;油气保存;准噶尔盆地

中图分类号:TE122.3⁺⁴

文献标识码:A

Preservation conditions for formation water and hydrocarbon in Wuxia area, Junggar Basin

Tan Kaijun^{1,2}, Zhang Fan¹, Yin Lu², Dai Dongdong², Qi Wen²

(1. Resource and Environment Faculty, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. Northwest Branch of Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Lanzhou, Gansu 730020, China)

Abstract: Based on the complicated distribution of geological fluid in Wuxia area of the Junggar Basin, from the aspects of hydrogeological conditions and formation water chemical characteristics, it has been discussed in this paper the relationship between formation water and hydrocarbon preservation. Studies have suggested that, Permian and Triassic experienced short stages of atmospheric water seepage and long stages of water compression since they were in alternative blocking and stopping belts. Severely influenced by deep thermal fluids, the formation water was mainly CaCl₂ and NaHCO₃ types with high salinity as well as low sodium chloride and de-sulfate coefficients. It was not or seldom damaged and provided excellent conditions for the preservation of hydrocarbon.

Key words: salinity; hydrogeological condition; formation water; hydrocarbon preservation; Junggar Basin

地下水作为沉积盆地中的主要流体,是最积极最活跃的地质应力之一,它既是驱动油气运移的动力,又是油气运移的载体。在地质历史时期,地层水的压力状态和运动规律与油气基本一致^[1],其物理和化学特性直接或间接地表征着油气运移和聚集等特征,指示着油气聚集单元的优劣性^[2-6]。近年来,关于沉积盆地地层水的研究相对较多^[7-15],为油气勘探开发提供了决策依据。本文针对准噶尔盆地乌夏地区地质流体分布的复杂特征,从水文地质条件和地层水的地球化学特征入手,剖析了地层水与油气保存条件的关系,进一步指出了有利的油气聚集区。

1 水文地质条件与油气保存条件

1.1 水文地质旋回

延续时间系数(沉积时间与渗入时间的比值)

可以表征渗入阶段和沉积阶段对油气的影响。在相同条件下,延续时间系数越大对油气成藏越有利。延续时间系数小于1,一般是不利于油气的成藏^[16]。

乌夏地区自二叠纪以来经历了4个水文地质旋回、8个阶段(图1)。在海西晚期,二叠系的埋深相对较浅,但在沉积埋藏过程中,地层的压实作用逐渐加强,压实排出水由高水头区流向低水头区,形成离心流,其范围广、强度大。该阶段为压榨水—离心流水文地质阶段。在印支期,该区遭受抬升剥蚀,接受风化淋滤作用,进入大气水下渗—向心流水文地质阶段。在该旋回阶段的二叠系和三叠系地层延续时间系数为2.7027,保存条件较好。该区大量的油气藏发现充分证明了这一点。在燕山I幕期,该区进入了短暂的沉降,接受沉积,进入压榨水—离心流水文地质阶段。在燕山II幕早

收稿日期:2011-04-02;修订日期:2011-11-18。

作者简介:谭开俊(1973—),男,博士生,高级工程师,从事储层地质和油气成藏研究工作。E-mail: tankj@petrochina.com.cn。

基金项目:中国石油天然气股份有限公司重大预探项目“准噶尔盆地重点区带目标优选与评价”(070108-3)部分研究成果。

界	系	组	构造运动	水文地质旋回					垂直分带	
				二叠纪	三叠纪	侏罗纪、白垩纪	新生代			
新生界	第四系		喜山运动						自由交替带	
	第三系									
中生界	白垩系	土谷鲁群	燕山 III 幕						自由交替带	
		齐古组								
	侏罗系	头屯河组	燕山 II 幕							
		西山窑组								
		三工河组								
		八道湾组								
	三叠系	白碱滩组	印支运动	燕山 I 幕						交替阻滞带
		克拉玛依组								
		百口泉组								
		乌拉禾组								
古生界	二叠系	夏子街组	海西运动					交替停止带		
		风城组								
		佳木河组								

图 1 准噶尔盆地乌夏地区水文地质旋回和垂直分带特征
红色为压榨水水文地质阶段;蓝色为大气水下渗水文地质阶段

Fig. 1 Cycles and vertical zonation of hydrogeology in Wuxia area, Junggar Basin

期,该区遭受短暂的抬升剥蚀,再次进入压榨水—离心流水文地质阶段。该旋回阶段的中、下侏罗统地层延续时间系数为 0.737 4,保存条件差。在这些地层中,很少有油气发现。在燕山 II 幕晚期到燕山 III 幕早期,该区经历了短暂的沉积和抬升剥蚀,进入了一个短暂的水文地质旋回。该旋回阶段的上侏罗统地层延续时间系数约等于 1,具有一定的保存条件,原先成藏的一些油气藏会遭受破坏。该区大量稠油油藏的分布充分说明了这一点。燕山 III 幕晚期到喜山运动早期,该区再次大幅度沉降,接受了大量沉积,进入压榨水—离心流水文地质阶段。喜山运动晚期至今,该区主要处于抬升剥蚀状态,进入大气水下渗—向心流水文地质阶段。

1.2 地层水垂直分带特征

地层水与地表水存在着或多或少的联系,通常越靠近地表,受地表水影响越大,埋藏越深,联系越差^[7]。乌夏地区构造活动期次多,难以形成长期的离心流,主要为向心流水动力环境,地表水对地下水影响较大。根据水型、矿化度和水动力条件,按照刘方槐等的分类标准^[17],将乌夏地区地层水的垂直分带划分为自由交替带、交替阻滞带和交替停止带 3 个带(图 1)。

自由交替带主要分布在第四系、第三系、白垩系和侏罗系。受大量正断层和不整合的影响,第四系、第三系、白垩系和侏罗系有良好的渗透性,且供、泄水区距离较近,使得地表水和地层水基本自由沟通,地层水化学性质和地表水基本一致或差别较小,矿化度较低,属于活跃开启的氧化环境,油气藏往往由于缺乏保存条件而遭受破坏。从目前侏

罗系分布的大量稠油油藏就很好地证明了这一点。

交替阻滞带主要分布在三叠系和上二叠统。随着地层埋藏深度的增加,又加上白碱滩组区域盖层的封隔,水交替受到抑制,三叠系和上二叠统地层透水性差,且与地表水隔离。含水层没有直接的泄水区,地层水泄水方式主要是依靠缓慢的地层压实离心流。地层水矿化度较高,属于封闭的还原环境,但在还原环境下,由于生物化学作用,硫酸盐可以被还原而生成 NaHCO₃ 型水,具有较好的油气保存条件。

交替停止带主要分布在下二叠统的佳木河组和风城组。下二叠统埋藏较深,与地表水无法沟通,主要为同沉积水,受深部热液影响大,地层水矿化度高,保存条件优越,有利于油气大量成藏。

2 地层水化学特征与油气保存条件

2.1 水型及矿化度

地层水作为油气运移、聚集的重要载体,其水型和矿化度与油气藏的形成、分布有着密切的关系。不同的水型和矿化度能反映不同的地质环境。目前,我国普遍采用前苏联地球化学家苏林的分类标准,即将地层水分成 4 类:CaCl₂, NaHCO₃, MgCl₂ 和 Na₂SO₄ 型。裸露和严重破坏的地质构造中,多属 Na₂SO₄ 型;与地表隔绝良好的封闭构造中,多属 CaCl₂ 型;而过渡性的构造条件,常有硫酸盐还原菌存在,硫酸盐与石油烃类作用而脱硫,形成 NaHCO₃ 型水;此外, MgCl₂ 型水也出现在过渡性的构造中,在通常条件下不是含油标志。一般来说,与油气有关的地层水普遍具有较高的矿化度^[2]。

该区二叠系地层水以 CaCl_2 水型为主,其次为 NaHCO_3 型,个别井区为 Na_2SO_4 型和 MgCl_2 型。 CaCl_2 型地层水主要分布在乌尔禾鼻隆和风 501—风 7 井区,与断裂活动的深部热源水作用有关。 NaHCO_3 型地层水主要分布在风古 7—夏 101 井区和夏 72 井区,为同沉积水,沉积环境相对稳定,保存条件中等。 Na_2SO_4 型地层水主要分布在乌尔禾向斜区,说明当时处于开放的氧化环境,不利于油气保存。 MgCl_2 型地层水分布在乌 3 井区。二叠系地层水矿化度变化范围较大,为 500 ~ 130 000 mg/L 左右。高矿化度地层水主要分布在乌尔禾鼻隆和风 501—风 7 井区,低矿化度地层水主要分布在斜坡区。从风城组到乌尔禾组, CaCl_2 型地层水分布区和高矿化度地层水分布区基本一致,但范围有所缩小,揭示了地层水活动的相似性和地质环境的相似性,同时也反映了地质环境的封闭性,有利于油气成藏。

该区三叠系地层水以 NaHCO_3 型为主,其次为 CaCl_2 型,个别井区为 MgCl_2 型。 NaHCO_3 型地层水主要分布在乌尔禾鼻隆、夏子街鼻隆和夏子街断裂带,沉积环境相对稳定,保存条件中等。 CaCl_2 型地层水主要分布在玛湖凹陷,与其上部断裂较不发育有关,有较好的保存环境。 MgCl_2 型地层水主要分布在夏 67 井区。三叠系地层水矿化度变化范围较大,为 2 755 ~ 30 000 mg/L 左右。高矿化度地层水主要分布在乌尔禾鼻隆、夏子街鼻隆、夏红北断裂和玛湖凹陷,低矿化度地层水主要分布在斜坡区^[10]。高矿化度地层水分布区与现今三叠系油气藏位置基本吻合,反映了地质环境的封闭性,有利于油气藏的形成和保存。

该区侏罗系地层水以 NaHCO_3 型为主,个别井区为 CaCl_2 型。 NaHCO_3 型地层水主要分布在乌尔禾鼻隆。 CaCl_2 型地层水主要分布在夏 59 井断裂附近,其是由与断裂活动引起地下水热流体上涌所致。附近的夏 26 和夏 35 井发现了天然气,说明其保存条件较好。侏罗系地层水矿化度变化范围较大,为 3 170 ~ 16 420 mg/L 左右,整体较二叠系和侏罗系的矿化度低。高矿化度地层水主要分布在夏红北断裂和夏 59 井断裂附近,低矿化度地层水主要分布在乌南断裂附近,可能与乌南断裂此时活动减弱,受深部热液影响减小、浅层水渗入有关。

2.2 变质系数

2.2.1 钙镁系数

钙镁系数($r\text{Ca}^{2+}/r\text{Mg}^{2+}$)是表征浓缩变质作用和阳离子吸附交换作用强弱的水文地球化学重要

参数之一。白云岩化作用越强,作用时间越长,地层水中 Mg^{2+} 离子含量就越小,浓缩变质程度就越大,钙镁系数就越大,地层水封闭就越好,有利于油气聚集与保存。一般来说,地层水的钙镁系数大于 3,封闭条件良好,有利于油气成藏^[18]。从地层水测试结果来看(表 1),乌夏地区钙镁系数在 0.084 8 ~ 21.428 8 之间,平均值为 6.569 1,绝大多数大于 3,反映了乌夏地区良好的保存条件。

2.2.2 钠氯系数

钠氯系数($r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$)是表征地下水变质程度的水文地球化学重要参数之一。 Cl^- 离子化学性质稳定,很少产生吸附、沉淀和交换反应,而 Na^+ 离子则可能由于吸附、沉淀等化学反应而减少。在地下水埋藏沉积后,钠氯系数一般都趋于降低。因此,利用钠氯系数的大小可判定地下水的变质程度,推测地下水的成因或起源。一般认为,钠氯系数越小,地下水越浓缩,变质越深,水体环境趋于还原,越有利于油气保存。地层水的钠氯系数小于 0.87,则油气保存条件好;若大于 0.87,则表明有地下水渗入,油气保存条件差^[19]。乌夏地区氯钠系数为 0.547 6 ~ 1.331 (表 1),平均值为 0.798 8,小于 0.87,基本上为封存水,表明发生了浓缩变质作用,地层有较好的封闭性。

表 1 准噶尔盆地乌夏地区地层水化学特征
Table 1 Chemical characteristics of formation water in Wuxia area, Junggar Basin

井号	深度/m	层位	$r\text{Ca}^{2+}/r\text{Mg}^{2+}$	$r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$	$100 \times r\text{SO}_4^{2-}/r\text{Cl}^-$
W35	2 927	P_{2x}	3.188 2	0.921 6	24.95
W351	3 144	P_{1f}	0.084 8	1.331 0	0.04
F19	3 770	P_{1j}	0.549 7	1.310 7	16.93
X74	1 613	T_3b	3.628 3	0.638 9	0.99
W37	1 146	T_2k^2	3.298 8	0.684 7	
X67	2 305.25	T_2k^1	10.612 5	0.819 5	
X009	1 504	T_2k^1	5.682 9	0.692 2	1.17
XJ307	1 901	T_2k^1	21.428 8	0.680 3	0.32
X11	2 047	T_2k^1	8.798 9	0.889 2	
W011	1 235.68	T_2k^1	16.488 1	0.614 6	
W36	1 438	T_1b	4.356 6	0.631 1	4.73
X62	2 396.9	T_1b	19.817 7	0.795 8	1.21
FZ026	258	J_3g	2.265 4	0.956 1	25.88
FZ030	291	J_3g	1.177 6	0.829 3	0.32
W109	695.25	J_1s	0.499 8	0.797 2	1.53
W102	742.5	J_1b	1.001 2	0.702 7	0.53
W163	1 065.5	J_1b	0.497 2	0.915 5	0.97
X001	1 424.75	J_1b	17.539 2	0.547 6	1.62
X18	1 171	J_1b	5.146 4	0.830 4	
X58	1 252.25	J_1b	3.740 9	0.727 9	1.35
X78	1 251	J_1b	9.481 6	0.592 4	0.70
X79	1 385.3	J_1b	8.353 3	0.939 9	33.46
X86	1 642	J_1b	4.897 8	0.640 2	0.19
X401	1 638	J_1b	5.120 8	0.683 1	1.46

2.2.3 脱硫酸系数

脱硫酸系数($100 \times r\text{SO}_4^{2-}/r\text{Cl}^-$)是表征地下水氧化还原环境的水文地球化学重要参数之一。在还原环境中,当存在有机质时,脱硫酸细菌能使 SO_4^{2-} 还原成 H_2S ,使地下水中 SO_4^{2-} 减少以致消失, HCO_3^- 增加,pH值增大。一般认为在封闭的储油构造中,脱硫酸系数一般都很低。地层水的脱硫酸系数小于3,则保存条件良好;若大于3,则认为还原作用不彻底,可能受到表层氧化作用的影响^[18]。乌夏地区脱硫酸系数为0.04~33.46(表1),平均值为6.2289,变化范围相对较大,体现乌夏地区水动力条件比较复杂。

通过上述地层水的水型、矿化度、钠氯系数和脱硫酸系数分析可以看出,这些参数在纵向上存在着较好的一致性 or 匹配性,各矿化度高值区往往对应于钠氯系数和脱硫酸系数的低值区,表明地下水动力场主要受垂向流动的控制。矿化度的整体分布受深度的影响,但分布并不均衡。在断裂带附近,地层水矿化度整体相对较高;在斜坡区,地层水矿化度整体较低,都说明地层水从下部沿输导层向上运移,以凹陷中心向斜坡区到断裂带运移为主。

3 结论

1) 乌夏地区经历了4个水文地质旋回、8个阶段,具有3个垂直分带(自由交替带、交替阻滞带和交替停止带)特征。处于交替阻滞带和交替停止带的二叠系、三叠系的大气水下渗阶段相对较短,而压榨水阶段较长,且受深部热液影响大,地层水矿化度高,保存条件优越,有利于油气聚集成藏。

2) 乌夏地区地层水以 CaCl_2 和 NaHCO_3 水型为主,矿化度高,且矿化度钠氯系数和脱硫酸系数在纵向上存在着较好的一致性,属于未破坏或微破坏型,具有良好的封闭性,有利于油气藏的形成和保存。

参考文献:

[1] 史建南,姜建群,张福功,等. 大民屯凹陷地层水水文地质特征与油气聚集关系[J]. 海洋地质动态,2003,19(11):24-30.

- [2] 李继宏,李荣西,韩天佑,等. 鄂尔多斯盆地西缘马家滩地区地层水与油气成藏关系研究[J]. 石油实验地质,2009,31(3):253-257.
- [3] 李鹏春,刘春晓,张渊,等. 塔中奥陶系地层水化学特征及其成因与演化[J]. 石油与天然气地质,2007,28(6):802-808.
- [4] 张琴,唐颖,张建丽,等. 永安地区断层封堵性研究[J]. 断块油气田,2010,17(4):402-404.
- [5] 刘光祥,沃玉进,潘文蕾,等. 中上扬子区海相层系流体特征与油气保存条件[J]. 石油实验地质,2011,33(1):17-21.
- [6] 张宗峰,查明,高长海. 大港油田埕北断阶区地层水化学特征与油气成藏[J]. 石油与天然气地质,2009,28(3):268-274.
- [7] 袁政文,全书进,乔桂林. 焉耆盆地油田水与油气藏的关系[J]. 石油与天然气地质,2002,23(4):406-409.
- [8] 孙向阳,解习农. 东营凹陷地层水化学特征及其与油气聚集关系[J]. 石油实验地质,2001,23(3):291-296.
- [9] 陈建平,查明,周瑶琪. 准噶尔盆地西北缘地层水化学特征与油气关系研究[J]. 地质地球化学,2000,28(3):54-57.
- [10] 姜林,宋岩,查明,等. 准噶尔盆地莫索湾地区地层水研究[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):72-77.
- [11] 张秋,聂志阳,谭志伟,等. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷水文地质特征与油气运聚关系[J]. 石油实验地质,2010,32(5):453-458.
- [12] 梁家驹,徐国盛,李昌鸿,等. 江汉平原区古生界地层水化学特征与油气保存[J]. 断块油气田,2010,17(2):129-133.
- [13] 徐德英,周江羽,王华,等. 渤海湾盆地南堡凹陷东营组地层水化学特征的成藏指示意义[J]. 石油实验地质,2010,32(3):285-289.
- [14] 周建国. 陆相断陷盆地中地层水的运移及分布规律对测井解释的影响[J]. 油气地质与采收率,2005,12(5):5-7.
- [15] 曾溅辉,吴琼,杨海军,等. 塔里木盆地塔中地区地层水化学特征及其石油地质意义[J]. 石油与天然气地质,2008,29(2):223-229.
- [16] 李国林. 水文地质旋回在临清地区油气勘探中的应用[J]. 油气地质与采收率,2009,16(6):53-55.
- [17] 刘方槐,顾婉荪. 油气田水文地质学原理[M]. 北京:石油工业出版社,1991:97-215.
- [18] 李伟. 塔里木盆地油田水文地质与油气聚集关系研究[M]. 北京:石油工业出版社,1995:122-132.
- [19] 陈安定,黄金明,杨芝文. 地层水资料在油气保存条件评价中的应用[J]. 南方油气,2003,16(2):1-7.

(编辑 黄娟)