

准噶尔盆地西北缘红山嘴油田地层水特征与 油气藏聚集关系

任国选¹, 侯读杰¹, 史玉玲², 鲁秀芹³, 杨志东⁴, 李 红⁴

(1. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083; 2. 中海石油 深圳分公司, 广东 广州 510240;

3. 中国石油 华北油田分公司 勘探开发研究院, 河北 任丘 062552; 4. 中国石油 新疆油田分公司, 新疆 克拉玛依 834000)

摘要:通过对准噶尔盆地西北缘红山嘴油田地层水平面分布特征和垂向变化规律的研究,揭示了该油田油气运移、聚集规律。红山嘴油田原油来自二叠系风城组和乌尔禾组,原油沿着不整合面和燕山期构造运动形成的近南北向断裂带,从东南向西北方向运移。从油气藏的分布特征和地层水的化学特征对比中得出,地层水的保存环境直接指示了油气藏的成藏环境;地层水所指示的封闭环境,均有良好的油气藏发现。燕山期构造运动断开了红山嘴油田石炭系至白垩系。通过断层两盘的地层水特征对比,发现燕山期运动后所形成的南北向断裂带处于开启状态,红车断裂带北段油气藏封闭性差,出现油气散失;通过原油密度分布与饱和烃气相色谱关系研究,得出红车断裂带北段经过水洗和生物降解后形成红山嘴稠油区。红车断裂带南段,由于白碱滩组巨厚层泥岩盖层的封盖作用,油气藏保存条件较好;在近东西向断层遮挡等情况下,形成了良好的断块油气藏。

关键词:矿化度;地层水;油气运移聚集;红山嘴油田;红车断裂带;准噶尔盆地

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Relationship between formation water characteristics and hydrocarbon accumulation in Hongshangzui oilfield in the northwestern margin of the Junggar Basin

Ren Guoxuan¹, Hou Dujie¹, Shi Yuling², Lu Xiuqin³, Yang Zhidong⁴, Li Hong⁴

(1. School of Energy, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Shenzhen Branch of CNOOC, Guangzhou, Guangdong 510240, China; 3. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Huabei 062552, China; 4. PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang 834000, China)

Abstract: The paper describes the plane distribution and vertical variation of formation water of the Hongshangzui oilfield in the northwestern margin of Junggar Basin for the purpose of investigating the hydrocarbon migration and accumulation patterns. Crude oil in Hongshanzui oil field was sourced from the Permian Fengcheng Formation and Wuerhe Formation and migrated along the unconformity and of the nearly S-N trending fault zone that was formed during the Yanshanian movement. Correlation of reservoir distribution with chemical feature of formation water indicates that the environment formation water preservation is an direct indicator of the setting of hydrocarbon accumulation and all of the sealed environments indicated by formation water have oil/gas discoveries. The strata from the Carboniferous to the Cretaceous were faulted by the Yanshanian Movement. The comparison of formation water properties between the hanging wall and foot wall shows that the N-S trending faulted zone formed after the Yanshanian movement is open and the northern segment of the Hongche fault belt has poor sealing condition resulting in loss of hydrocarbon and local light oil reservoirs. Analysis of relationship between crude oil density distribution and saturated hydrocarbon gas chromatography shows that a heavy oil zone was formed in the northern segment of the Hongche fault belt by washing and biodegradation. In contrast, the southern segment of the fault belt has good reservoir preservation conditions due to the sealing of the huge thick mudstone in the Baijiantan Formation. Good fault block reservoir can be formed under the sealing of the E-W trending fault.

Key words: total dissolved solid (TDS), formation water, hydrocarbon migration and accumulation, Hongshanzui oilfield, Hongche fault belt, Junggar Basin

盆地中油气在生成、运移、聚集的过程中均与地层水相伴生,因此地层水的变化为油气运移、油气保存条

件评价等一系列油气勘探与开发中的重要问题提供了线索^[1-4]。准噶尔盆地西北缘红山嘴油田多为小型复杂断块油气藏,油气水分布关系异常复杂。前人已经对准噶尔盆地西北缘油气成藏特征进行了系统的研究^[5-6],本文结合前人的研究成果,通过对油田开发中积累的大量地层水常规组分资料的地球化学特征分析,来探讨地层水成因与油气藏的关系。相互连通的两个油藏中,地层水的水化学特征应具有相似性,而中间有阻隔的两个油藏之间地层水的化学特征应有较大的差别。文章将通过对准噶尔盆地西北缘红山嘴地区复杂断块油气藏地层水的研究,揭示红山嘴复杂断块油气藏的运移聚集规律。

1 地质背景

红山嘴油田位于准噶尔盆地西北缘红车断裂带北部,中拐凸起南部,距克拉玛依市东南方向 20~30km(图 1)。区域构造位于克-乌断裂带与车排子隆起所夹持的二级构造带上,是一个由多个断块组成的复杂构造^[7-9]。该区地层自下而上依次为石炭系(C)、二叠系佳木河组(P_{1j})、乌尔禾组(P_{2w});三叠系克拉玛依组(T_2k)、白碱滩组(T_3b);侏罗系八道湾组(J_1b)、三工河组(J_1s)、西山窑组(J_2x)、头屯河组(J_2t)、齐古组(J_3q);白垩系吐谷鲁群(K_1tg)、古近系和新近系。红山嘴油田原油来自二叠系风城组和乌尔禾组,三叠系是优质的储层^[10]。三叠系顶面构造基本呈西北高东南低的单斜形态,并被多条规模不等的逆断层切割,这些断层主要在印支期形成,断块边界大断裂一直活动至燕山运动期。二叠系只在断块东南部有小范围残余,其他地区三叠系直接覆盖在石炭系上。

来自车排子凸起方向的压应力引起的冲断活动在本区西部和南部形成的断裂带(断坡区)成为地层倾

向腹地的“镶边”,从而使中生代地层表现为一个轴向北西—南东的不对称向斜^[11]。红山嘴油田整体上是—一个由北西向南东倾斜的被众多断层复杂化的单斜,油气水分布规律异常复杂。

2 地层水化学特征与油气藏成藏关系

在油田地层水化学研究中,除了地层水矿化度和水型的研究,常用到的研究参数有钠氯系数(r_{Na^+}/r_{Cl^-})、脱硫系数($100 \times r_{SO_4^{2-}}/r_{Cl^-}$)、碳酸盐平衡封闭系数 $[(r_{HCO_3^-} + r_{CO_3^{2-}})/r_{Ca^{2+}}]$ 、钙镁系数($r_{Ca^{2+}}/r_{Mg^{2+}}$)、钠钙系数($r_{Na^{2+}}/r_{Ca^{2+}}$)、变质系数 $[(r_{Cl^-} - r_{Na^+})/r_{Mg^{2+}}]$ 、油藏封闭系数 $[(r_{NH_4^+} + r_{H_2S})/r_{SO_4^{2-}}]$ 和油气藏指标系数 $[(r_{NH_4^+} + r_{H_2S})/r_{SO_4^{2-}}]/[(r_{HCO_3^-} + r_{CO_3^{2-}})/r_{Ca^{2+}}]$ 等。研究这些系数的变化,对油气的生成、运聚并指明储层的含油气性和有利的油气聚集区有很大的帮助(表 1)。

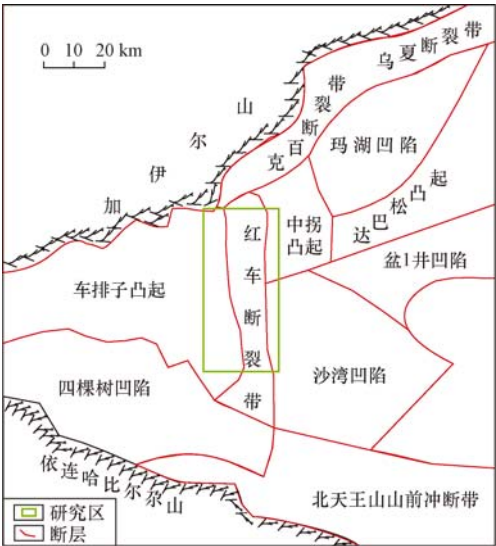


图 1 红山嘴油田构造位置

Fig. 1 Structural location of Hongshangzui oilfield

表 1 地层水主要化学特性指标(据文献[12]修改)
Table 1 Main chemical characteristics of formation water

系数名称	钠氯系数	变质系数	脱硫系数	碳酸盐平衡封闭系数	油气藏封闭系数	油气藏指标系数
成因机理	浓缩变质作用	变质作用和阳离子吸附交换作用	脱硫酸作用及生物化学作用	脱碳酸作用	与油气的生成、运移、聚集和保存相伴生	与油气藏形成、保存和封闭程度相伴生
变化规律	地层水封闭越好、越浓缩,变质程度越深,其值越小	封闭越好,时间越长,变质程度越深,其值越大	封闭越好,其值越小,但零值只能说明封闭较好	越靠近油气藏,油气性质越轻,其值相对越小	越靠近油气藏,其地层水化学特性系数值越大	越靠近油气藏,其值越大
特性系数的作用	说明浓缩变质程度	说明地层水变质、封闭程度	判断油气保存情况	判断油气藏性质	判断油气存在	判断油气藏性质
与油气关系	间接	间接	间接	间接	间接	间接
综合用途	1. 判断地层内流体移动方向,推断油源,预测油气藏 2. 判别油水层、油气藏、油气性质 3. 判别构造区的相对稳定性、岩相区和油田水文地质带					

2.1 地层水矿化度、水型与油气成藏的关系

从石炭系地层水的分布来看(图2a—c),主要以红027井区地层水矿化度较大,可达到18 000 mg/L。水型以 CaCl_2 型为主,表示红山嘴地区石炭系封闭性较好。石炭系油藏储层主要是火山岩,与地层水矿化度和水型没有明显的相关性,在封闭环境下有不同程度的油气藏发现,如红29井区和红43井区都是以 CaCl_2 型为主的地层水,且矿化度都达到了40 000 mg/L以上。三叠系克拉玛依组下段地层水矿化度与油藏分布具有明显的相关性,地层水矿化度大的地方均有油藏发育。

整体而言,红山嘴地区地层水的矿化度靠近西北方向都较低,地层水矿化度低于14 000 mg/L,水型主要以 NaHCO_3 型为主,代表开放的环境,表明有地表水的参与,该区域主要为红浅区,即稠油区。

2.2 地层水钠氯系数与油气成藏的关系

从红山嘴油田地层水钠氯系数分布图(图2d—f)上可以看出,由于受白碱滩组泥岩厚度变化的影响,红浅区和红96区地层水的封闭性较差,同时这些地区的钠氯系数较大。勘探实践表明这些地区的油藏遭受了后期的破坏。红80井附近钠氯系数最小,约为0.5,说明该区地层水的封闭性较好。从西北向东南部,随着白碱滩组泥岩厚度的增加,相应的变质系数由大变小,红029井区和红山嘴石炭系出露的地区变质程度最小,说明其流体—岩石相互作用强度最小,保存条件最好。而红028井附近地层水的钠氯系数较大,说明封闭条件不好。

油藏保存的好坏间接地与钠氯系数相关,在封闭性环境下,没有遭受后期破坏的地区,即白碱滩组泥岩层封闭较好的地区,油藏的保存程度均比较好。图2d—f中红色区域代表的是红浅区和四二区的部分稠油油气藏,这些地区曾充注了大量的油气,由于后期改造加之降水的渗入,白碱滩组泥岩厚度在此区域减薄,盖层的封闭性变差,导致此区域油气藏被水洗和生物降解而形成稠油油藏。

2.3 地层水变质系数与油气成藏的关系

从图2g—i中可以看出,围绕红80井区、红118井区以及车202井区,地层水变质系数较大,其中红80井区变质系数最大,说明红80井区油藏的封闭性最好,油气显示最好;红96区域和红浅区变质系数较低,说明油藏封闭性差,后期改造明显。

红山嘴地区的石炭系油藏主要集中在红车断裂

带南部。从地层水变质系数平面分布图(图2g—i)可以看出,红021井区石炭系油藏的变质系数达到了200左右,此处油气藏封闭较好,而其他地区则一般,变质系数一般低于60。红山嘴地区三叠系克拉玛依组下段显示在地层封闭性好的地区都有油气藏发现。

2.4 地层水脱硫系数与油气成藏的关系

地表水的进入造成地层水中硫酸根离子增加和氯离子减少,脱硫系数应该同矿化度和氯离子的分布成对应关系。从图2j—l可以看出,红山嘴地区有六处地区硫酸根离子增加,这些地区的脱硫系数较大,其中最大的地区是红040井区、红15002井区和红023井区。在实际勘探中,红023区域的红023井日产水14.04 m³,日产油5.21 t,而在红023区域主要为地表水,由此导致油藏含水量上升。这表明该区域三叠系白碱滩组泥岩的封堵性减弱造成了地表水渗入。红山嘴南部地区,脱硫系数较低,表现了良好的封闭性,例如红118油藏和车202井区的油藏,由此形成了红车断裂带地区有利于的油气保存条件。

2.5 地层水碳酸盐平衡系数与油气成藏的关系

总体上,红山嘴地区地层水中碳酸盐平衡系数是南部低值,中间高值,靠近红浅区数值增大,低值主要分布在红车断裂带和红96区(图2m—o)。而向红023和红110井方向碳酸盐平衡系数却逐渐增高,可能是深层有机质的热演化和脱硫作用产生的 CO_2 沿断裂运移到地层水中,增加了 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 的浓度,导致该区碳酸盐平衡系数的增大。

石炭系与三叠系红117井区的碳酸盐平衡系数都较高,推测为大气降水的渗入使得 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 的浓度降低(图2m—o)。石炭系地层水碳酸盐平衡系数在红027开区和红023井区附近较大,达到了135以上;在红车断裂带和车202井区附近,其值小于10。碳酸盐平衡系数的分布与变质数的分布恰好相反,可能是储层流体中 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 浓度大,有利于方解石的沉淀和晚期方解石的形成。

通过原油指纹谱图可以看出,红浅区稠油遭到生物降解和地层水水洗(图3)。此外,由于红车断裂带北段三叠系白碱滩组泥岩厚度最小(图4),封闭性较差,降解的稠油可能是地表淡水水洗形成。原油密度由南向北逐渐增大,而地层水的类型由南向北出现由 CaCl_2 型向 NaHCO_3 型转化。地层水的矿化度、水型以及原油密度的变化明显受盖层的影响,由此说明南部地层封闭性好。

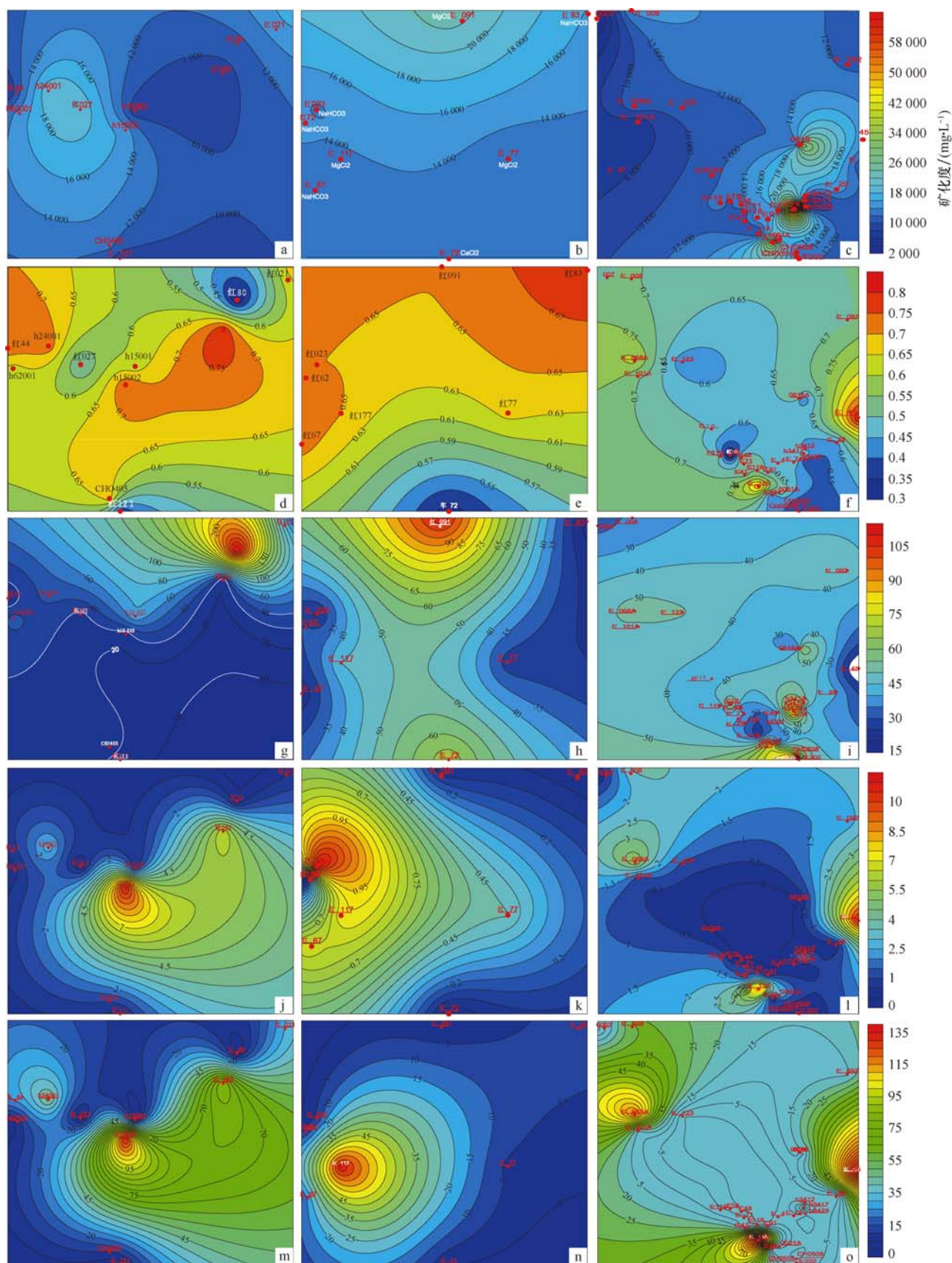


图2 红山嘴地区地层水化学特征平面分布

Fig. 2 Map showing chemical characteristics of formation water in Hongshanzui area

- a. 石炭系地层水矿化度; b. 克拉玛依组上段地层水矿化度; c. 克拉玛依组下段地层水矿化度; d. 石炭系地层水钠氯系数; e. 克拉玛依组上段地层水钠氯系数; f. 克拉玛依组下段地层水钠氯系数; g. 石炭系地层水变质系数; h. 克拉玛依组上段地层水变质系数; i. 克拉玛依组下段地层水变质系数; j. 石炭系地层水脱硫系数; k. 克拉玛依组上段地层水脱硫系数; l. 克拉玛依组下段地层水脱硫系数; m. 石炭系地层水碳酸盐平衡系数; n. 克拉玛依组上段碳酸盐平衡系数; o. 克拉玛依组下段碳酸盐平衡系数

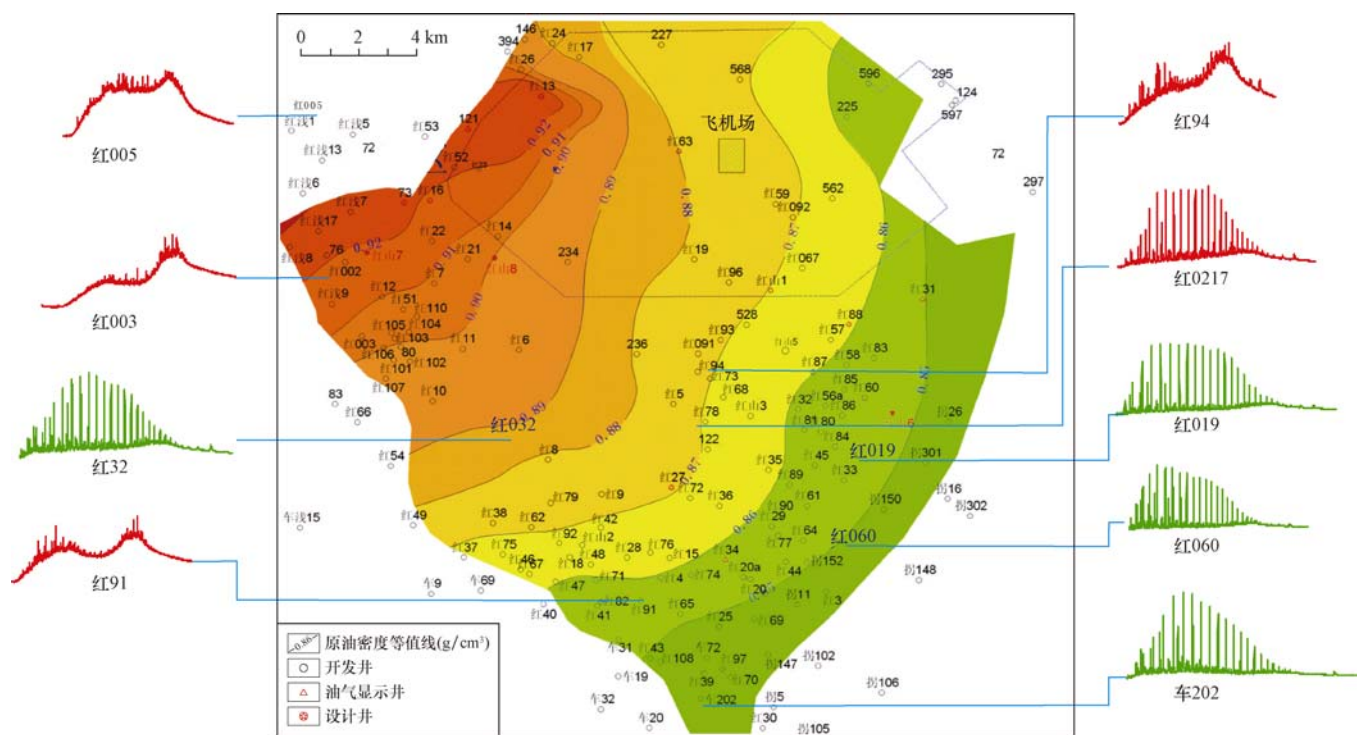


图3 红山嘴油田原油密度分布与饱和烃气相色谱关系

Fig. 3 Correlation of density distribution and gas chromatogram of saturated hydrocarbon of crude oil in Hongshanzui oilfield

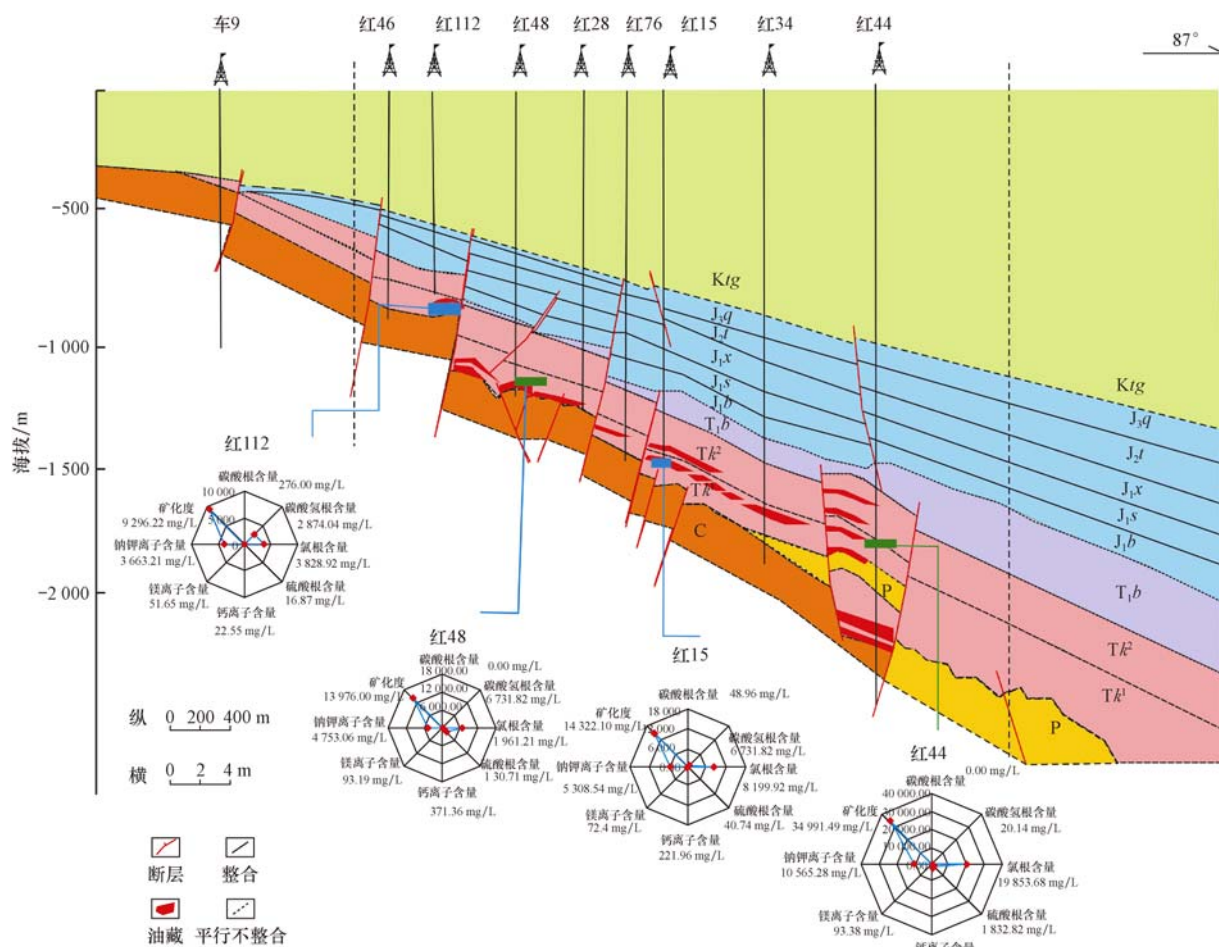


图4 车9—红46—红112—红48—红28—红76—红15—红34—红44井油藏剖面

Fig. 4 Reservoir cross-section crossing well Che 9 - Hong 46 - Hong 112 - Hong 48 - Hong 28 - Hong 76 - Hong 15 - Hong 34 - Hong 44 in Hongshanzui oilfield

3 地层水垂向变化特征与油气成藏关系

从图4上可见,红44井和红15井均被断层封隔,这两口井的水化学雷达图显示各种水化学离子分布具有一定的相似性,矿化度和 Ca^{2+} 离子含量较高, HCO_3^- 和 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 离子则较小。地层水由矿化度从深部到浅部由大变小,自东向西逐渐减小,水型由 CaCl_2 转变为 NaHCO_3 。红44井所在的断块和断背斜封闭性最好,矿化度达到35 000 mg/L,氯根含量达到20 000 mg/L。从剖面位置可以看出,矿化度由东向西逐渐降低,这与西北缘地区地层的整体走势和地层厚度有明显的正相关性。

4 结论

1) 红山嘴油田地层水存在明显的分带性,在北北西部以保存条件差的 NaHCO_3 型水为主,南东东部以保存条件好的 CaCl_2 型水为主,中部则各种水型均有分布。

2) 红山嘴油田地层水的矿化度存在着由北北西向南东东方向逐渐增大的特点,主要原因是白碱滩组泥岩的厚度由北北西向南东东方向逐渐增厚,封闭性越来越好,矿化度越来越大。

3) 反映红山嘴油田油气保存条件的负相关系数(钠氯系数、碳酸盐岩平衡系数、脱硫系数)具有从北北西向南东东方向减小的趋势;而与保存条件呈正相关的系数(钙镁系数、变质系数)具有从北北西向南东东方向增大的趋势。

4) 地层水环境直接指示了油气藏成藏的环境,地层水保存好的地区,均有良好的油气藏显示。

参 考 文 献

- [1] Varsanyi I, Kovacs O L. Origin, chemical and isotopic evolution of formation water in geopressured zones in the Pannonian Basin, Hungary [J]. *Chemical Geology*, 2009, 264: 187–196.
- [2] Munz I A, Johansen H, Huseby O, et al. Water flooding of the Oseberg Ost oil field, Norwegian North Sea: application of formation water chemistry and isotopic composition for production monitoring [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2010, 265: 1–15.
- [3] 李梅, 金爱民, 楼章华, 等. 准噶尔盆地地层流体特征与油气运聚成藏[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(4): 607–615.
Li Mei, Jin Aimin, Lou Zhanghua, et al. Formation fluid characteristics and hydrocarbon migration and accumulation in Junggar Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(4): 607–615.
- [4] 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.
Xu Deying, Zhou Jiangyu, Wang Hua, et al. Chemical characteristics of formation water significant to oil reservoir in Dongying Formation, Nanpu Sag, Bohai Bay Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2010, 32(3): 285–289.
- [5] 李贤庆, 侯读杰, 张爱云. 油田水地球化学研究进展[J]. *地质科技情报*, 2001, 20(2): 51–54.
Li Xianqing, Hou Dujie, Zhang Aiyun. Advancement of the geochemical study of oilfield water [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2001, 20(2): 51–54.
- [6] 杨庚, 王晓波, 李本亮, 等. 准噶尔盆地西北缘斜向挤压构造与油气分布规律[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(1): 26–30.
Yang Geng, Wang Xiaobo, Li Benliang, et al. Oblique compressional structures and hydrocarbon distribution patterns in the northwestern margin of the Junggar Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(1): 26–30.
- [7] 胡宗全, 尹伟, 伍新和, 等. 中国中西部四大盆地碎屑岩油气成藏体系及其分布规律[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(4): 561–570.
Hu Zongquan, Yin Wei, Wu Xinghe, et al. Petroleum accumulation systems of clastic strata and their distribution in the four large-sized basins in central-western China [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(4): 561–570.
- [8] 孟家峰, 郭召杰, 方世虎. 准噶尔盆地西北缘冲断构造新解[J]. *地学前缘*, 2009, 16(3): 171–180.
Meng Jiafeng, Guo Zhaojie, Fang Shihu. A new insight into the thrust structures at the northwestern margin of Junggar Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(3): 171–180.
- [9] 蔡忠贤, 陈发景, 贾振远. 准噶尔盆地的类型和构造演化[J]. *地学前缘*, 2000, 7(4): 431–440.
Cai Zhongxian, Chen Fajing, Jia Zhenyuan. Types and tectonic evolution of Junggar Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(4): 431–440.
- [10] 姜向强, 柳广弟, 高岗, 等. 准噶尔盆地克百断裂带油源分析[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(6): 754–767.
Jiang Xiangqiang, Liu Guangdi, Gao Gang, et al. An analysis of oil source in the Kebai fault zone, the Junggar Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(6): 754–767.
- [11] 陈发景, 汪新文, 汪新伟. 准噶尔盆地的原型和构造演化[J]. *地学前缘*, 2005, 12(3): 77–89.
Chen Fajing, Wang Xinwen, Wang Xinwei. Prototype and tectonic evolution of the Junggar Basin, northwestern China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(3): 77–89.
- [12] 高锡兴. 中国含油气盆地油田水[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
Gao Yixing. Oilfield water of Petroliferous Basin in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994.

(编辑 董立)