

鄂尔多斯盆地天环拗陷南段水文地质特征与油藏富集规律

惠 潇¹, 田永强²

(1 长庆油田公司 勘探开发研究院, 陕西 西安 710021; 2 长庆油田公司 勘探部, 陕西 西安 710021)

摘要: 从油田水文地质学的角度, 在鄂尔多斯盆地天环拗陷南段开展了流体运移和油藏保存条件及富集规律的研究。受断层、古河侵蚀等作用影响, 地层水从拗陷中心向两侧运移; 地层水矿化度和氯离子质量浓度的分析表明, 延长组地层封闭性好于延安组地层, 油田水高矿化度、低还原系数区地层封闭性好, 为石油勘探的有利目标。

关键词: 天环拗陷; 水文地质; 油藏富集规律; 油田水

中图分类号: P641.642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)03-0278-05

Hydrogeologic Features and Enrichment Laws of Oil Reservoirs in South Tianhuan Depression, Ordos Basin

HUI Xiao¹, TIAN Yong-qiang²

(1 *Institute of Petroleum Exploration and Development, China Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, Shaanxi, China*; 2 *Department of Exploration, Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, Shaanxi, China*)

Abstract Fluid migration, saving conditions and enrichment laws of oil reservoirs in South Tianhuan depression of Ordos basin are researched from the viewpoint of oilfield hydrogeology. Under the control of fault and ancient river erosion, the groundwater migrates from the centre of depression to the margin. The salinity analyses of oilfield water and mass concentration of chloride ions indicate that the sealing conditions of Yanchang Formation are better than Yan'an Formation. Areas with good sealing conditions, in which the oilfield water have high salinity and low values of deoxidizer coefficient, are favorable aims for oil exploration.

Key words: Tianhuan depression; hydrologic geology; enrichment laws of oil reservoirs; oilfield water

0 引言

鄂尔多斯盆地是一个大型陆相含油气盆地, 天环拗陷位于盆地西侧, 为东翼宽缓、西翼陡窄、不对称的拗陷构造, 衔接了西缘逆冲带和陕北斜坡, 为盆地构造格架中重要的组成部分^[1-2]。三叠纪为鄂尔多斯盆地石油形成史上的重要时期, 气候由干燥逐渐转向湿润, 经历了湖盆的发生、发展、全盛、衰退乃至消亡的演化过程。延长组长7沉积时湖盆达到了全盛期, 深湖分布范围广泛, 水生生物发育, 沉积了盆地中生界最好的一套生油岩——暗色泥

岩和油页岩^[3], 之后开始逐渐萎缩, 直至最终消亡。受印支运动影响, 盆地整体抬升, 延长组上部地层遭受了不同程度的风化剥蚀, 在此基础上侏罗纪沉积了富县组和延安组下部充填式的河流沉积及延安组上部准平原化的沼泽沉积。

天环拗陷南段紧邻西缘断褶带, 北部发育前侏罗纪甘陕古河, 东部发育庆西古河, 由于构造抬升和古河下切侵蚀作用, 延长组上部地层保存不全。受区域构造和保存条件影响, 主要发育岩性油藏、构造-岩性油藏等油藏类型, 成藏条件复杂。近年来, 对该区的沉积相及构造条件等问题进行了深入

收稿日期: 2007-12-08

基金项目: 中国石油天然气股份公司科技项目(060106)

作者简介: 惠 潇(1974-), 男, 陕西高陵人, 工程师, 从事石油地质研究。E-mail: hx_cq@petrochina.com.cn

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

研究^[4-7], 对油藏保存条件和富集规律的研究较少。笔者从油田水文地质角度分析了该区的流体运移方向、油藏保存条件和石油富集规律, 指出了石油勘探的有利目标。

1 水文地质条件

1.1 水文地质旋回

水文地质旋回是水文地质历史分期的基础, 一个完整的水文地质旋回是一个地区沉降—沉积—剥蚀的全过程, 开始于盆地负向构造运动, 沉积作用和沉积成因水的形成, 经过正向构造运动, 剥蚀作用和地表入渗补给成因水的形成, 结束于新的负向构造运动和再一次沉积作用的开始^[89]。天环拗陷南段从晚三叠纪到现今共经历了3个水文地质旋回, 即晚三叠纪水文地质旋回、侏罗纪水文地质旋回和白垩纪—现今水文地质旋回^[10]。盆地模拟证实, 鄂尔多斯盆地从早白垩纪开始进入生排油高峰期, 并在早白垩纪末期达到最大生排烃范围, 发生大规模的油气生成和运聚^[11], 所以白垩纪至现今水文地质旋回对中生界油藏的形成和破坏有非常重要的作用。

1.2 流体运移

经过早白垩纪的沉积后, 延长组和延安组的上覆地层压力达到最大, 储层达到现今的孔隙度和渗透能力, 原始沉积水被压榨挤出, 烃类成熟后随沉积水一同运移。沉积成因水一般是由拗陷向边缘和隆起带运移, 入渗补给成因的地下水运移方向恰好相反, 在两种水体的交接处形成一个压力平衡带, 为油气聚集的有利区带。

在天环拗陷西部, 三叠纪和侏罗纪地层出露地表遭受剥蚀, 断层加剧了地表水的补给程度, 地表水通过古河道向东运动。南部镇北西峰地区抬升后遭受大面积剥蚀作用, 再加上甘陕古河和庆西古河的冲蚀作用, 使延长组上部长1~长3地层遭受不同程度的剥蚀, 河道成为延长组沉积水的排泄途径, 以低矿化度为主的入渗补给成因水和地层中原有的沉积成因水发生混合更替作用, 结果使延长组上部地层水的矿化度降低。延长组下部地层大多没有出露, 地层内的沉积成因水基本未受影响。

随着压实程度的提高, 延长组下部地层的封闭能力得到提高, 地层水运移从拗陷中心沿渗透性较高的通道侧向运移, 上部地层由于孔隙发育, 渗透性好, 流体具有向上运动的趋势(图1)。

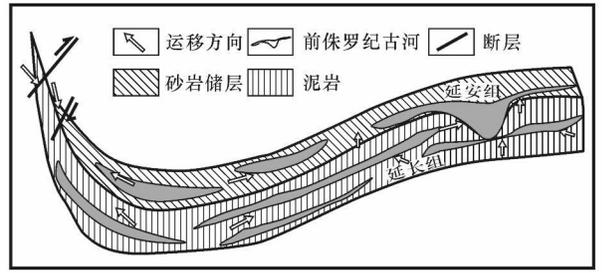


图1 天环拗陷南段白垩纪流体运移示意图

Fig. 1 Sketch Map of Liquid Migration in Cretaceous Period in South Tianhuan Depression

1.3 地层水化学特征

随着沉积物厚度的增加, 水动力环境和热力学条件显著改变, 盐分聚集和浓缩变质作用增强, 从而使地层水的化学成分发生了巨大变化^[12-14]。通过对延安组和延长组地层水的矿化度、氯离子质量浓度和储层物性参数进行对比(表1), 可以看出, 储层物性的垂向变化符合沉积盆地的压实成岩规律, 而矿化度和氯离子质量浓度的变化在延安组至延长组上部符合垂向分带规律, 在延长组下部地层出现了异常情况。长8油层组的矿化度和氯离子质量浓度小于上部地层, 该异常值主要出现在西峰油田, 部分为苏林分类中的 NaHCO_3 和 Na_2SO_4 型水。研究认为, 延长组长8油层组裂缝的存在以及西峰油田的超前注水开发对地层水矿化度可能产生影响。

表1 天环拗陷南段油田水化学特征及物性变化

Tab. 1 Chemical Characters and Physical Properties of Reservoir in South Tianhuan Depression

层位	矿化度/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	氯离子/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	孔隙度/ %	渗透率/ ($10^{-3}\mu\text{m}^2$)
延6	34.2	14.4	16.5	58.0
延10	47.3	27.9	15.3	39.0
长3	94.3	56.4	14.0	6.9
长8	68.4	36.9	10.5	0.7

在地层水矿化度增高的同时, 水化学成分也发生了改变, 上部的 Na_2SO_4 和 NaHCO_3 型水逐渐变成 CaCl_2 型水, 水中的 NaCl 也被 CaCl_2 所代替。图2分别表示延安组和延长组地层水中氯离子和钙离子质量浓度与矿化度变化关系。

以 Cl^- 为代表的阴离子质量浓度和矿化度的变化呈现出很好的线性关系, 在延长组地层水中, Cl^- 占绝对优势, 其他阴离子含量很少, 而且随着矿化度的升高, 这种趋势更加明显。延安组地层水中的阴离子以 Cl^- 为主, 在总矿化度不高的条件下, HCO_3^-

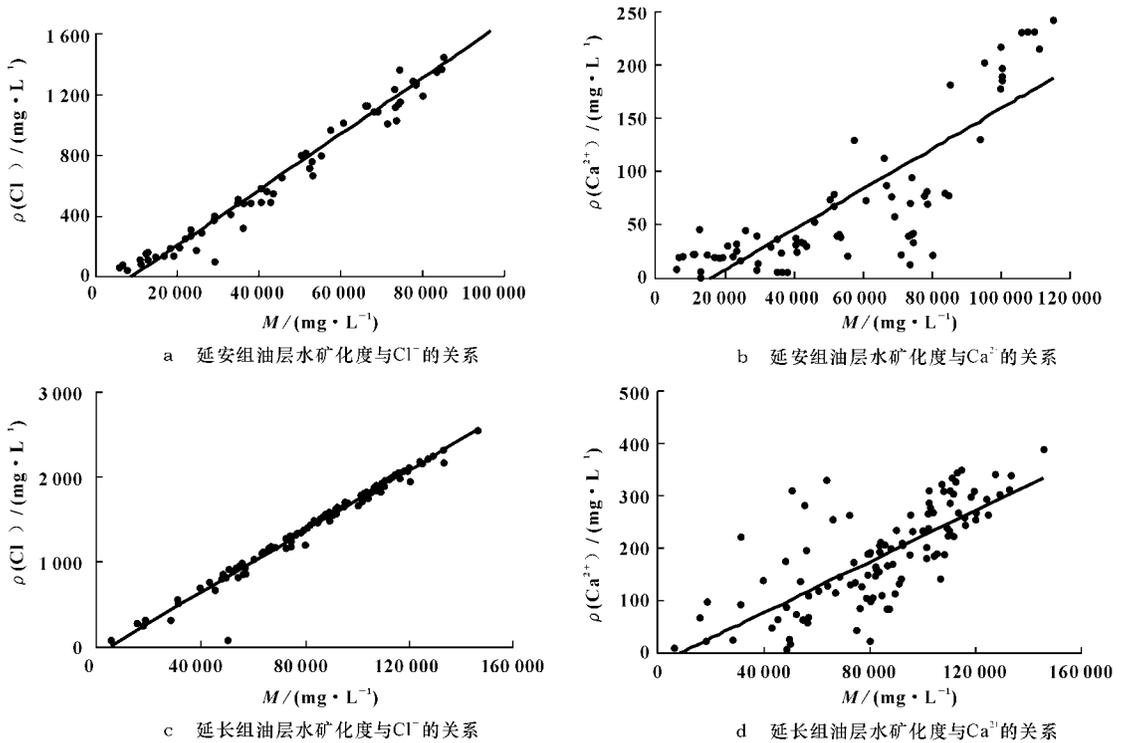


图 2 延安组、延长组油层水矿化度与 Cl⁻、Ca²⁺ 质量浓度关系

Fig. 2 Relationships Between the Salinity and Concentration of Cl⁻、Ca²⁺ of Yangchang and Yan'an Formations

和 SO₄²⁻ 等其他阴离子也占有相当的比例。

以 Ca²⁺ 为代表的阳离子质量浓度和矿化度的变化关系比较复杂, 延长组由于有低矿化度地层水出现, 使得在矿化度低值区数据比较离散。随着矿化度的升高, 线性关系增强, 水型主要为 CaCl₂ 型。整个延安组地层水中 Ca²⁺ 质量浓度和矿化度的数据变化比较紊乱, 反映出延安组属浓缩变质作用水动力体系。

2 油田水化学特征与油藏富集规律

油田水形成经历了复杂漫长的地质过程, 是油气运聚成藏的动力和载体, 在长期演化过程中, 地下水与油气相互作用、相互影响, 经历了一系列的封闭、浓缩、溶滤和扩散作用, 形成了现今的水化学特征, 通过对这些化学因素进行分析, 结合地质资料, 对进一步了解油气富集规律有重要的作用。

根据已有油田水化学资料和石油勘探情况, 该区延长组长 6~8 油层试油基本不产水, 笔者主要对延长组长 3 (图 3) 和延安组延 10 油层进行研究分析。

2.1 延长组长 3 油层

前已述及, 该区长 3 地层的发育并不平衡, 受甘陕古河和庆西古河侵蚀切割, 地层随河流下切深

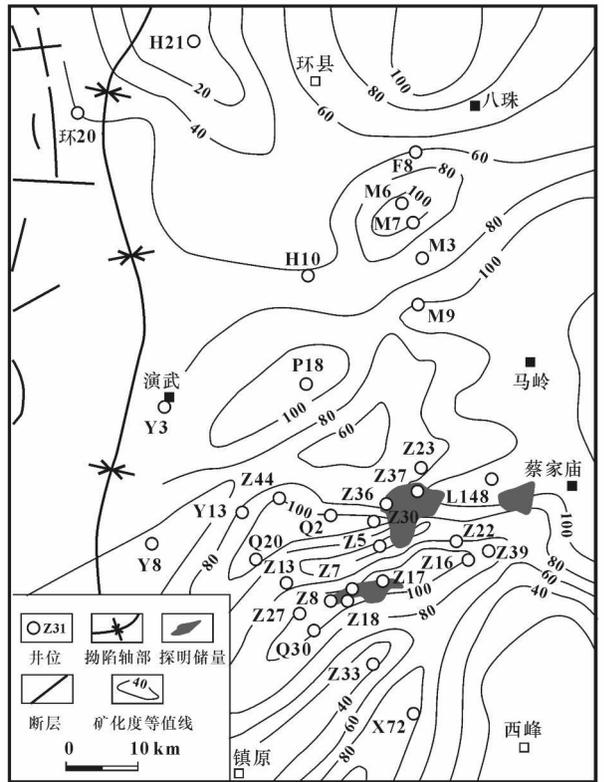


图 3 延长组长 3 油层水矿化度分布

Fig. 3 Salinity Distribution of the Oil Water in Chang 3 Formation

度和范围变化; 在东南部的镇北—西峰地区, 受构造抬升作用影响, 地层受到剥蚀而保存不全; 另外在天环拗陷西部, 在风化剥蚀和断层等地质作用下, 地层缺失较多。

长 3 地层在该区的沉积特点可以从矿化度等值线的变化反映出来(图 3), 除甘陕古河区低矿化度呈带状连续外, 其余地方矿化度变化基本呈块状分布, 这意味着平面上地层水的运动基本停滞, 各区块间缺少水力联系。除河间丘位置外, 高矿化度区块所反映的封闭区域与长 3 的岩性致密带相一致, 对油藏的形成起重要的遮挡作用, 已发现的油藏主要紧临高矿化度区块分布。

油田水中 $\rho(\text{SO}_4^{2-})/\rho(\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-) \times 100\%$ 被称为还原系数^[15], 是表征油田水地球化学特征的一项重要指标。该区长 3 油层水的还原系数低值区与矿化度变化区块分布基本一致(图 4), 负异常说明该区构造封闭性好、水交替作用缓慢、属缺氧的还原环境, 有利于油气聚集及保存, 为下一步石油勘探的有利目标。

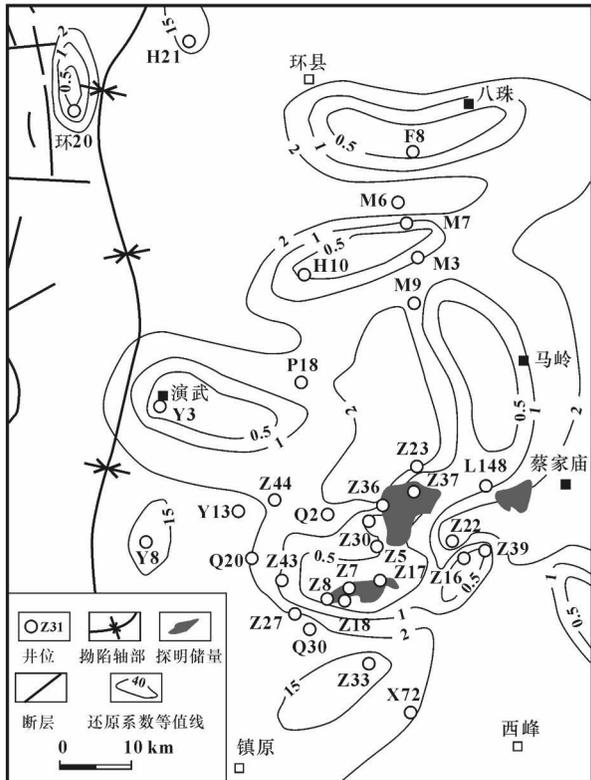


图 4 延长组长 3 油层水还原系数分布

Fig 4 Reduction Factor Distribution of the Oil Water in Chang 3 Formation

2.2 延安组延 10 油层

甘陕古河是前侏罗纪延 10 层地下水运动的

主要通道, 天环拗陷以西受断层开启和地层出露的影响, 主要为地表水补给区, 沿古河道进入承压区, 向东最终到达泄水区。

油田水矿化度变化受古地貌单元控制, 沿高地—斜坡—河道矿化度依次变小(图 5、6)。研究区具有苏林分类的全部 4 种水型(图 7), 按封闭性从强到弱依次为 $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{NaHCO}_3 - \text{MgCl}_2 - \text{CaCl}_2$, 其中 Na_2SO_4 和 NaHCO_3 型水主要分布在河道部位, 过渡阶段的 MgCl_2 型水出现在天环拗陷轴部, 是地表补给渗滤水和地层沉积成因水混合作用的结果。值得注意的是在蔡家庙河道部位出现了高矿化度的 CaCl_2 型水, 研究认为, 深切的庆西古河沟通了延长组下部地层高矿化度的沉积水, 从而发生混合交替作用, 改变了该区块的矿化度。因此, 沿前侏罗纪古河道斜坡及河间丘部位封闭条件相对较好, 为石油运聚成藏的有利区(图 5)。

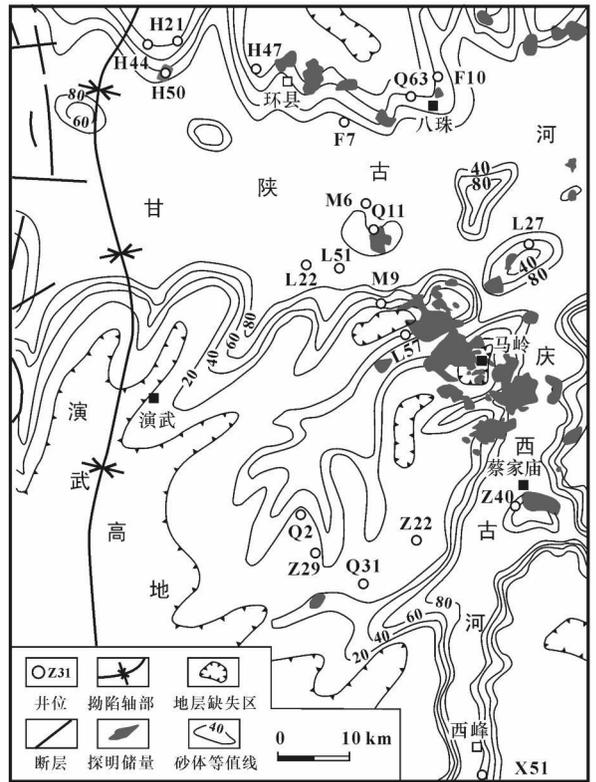


图 5 前侏罗纪古地貌

Fig 5 Paleogeomorphology of Pre-Jurassic

3 结语

(1) 该区流体运移方向受断层、沉积、古河侵蚀等多种作用影响, 地层水从拗陷中心向两侧运移, 古河道成为延长组沉积成因水的排泄途径。

(2) 地层水矿化度和氯离子质量浓度随深度逐

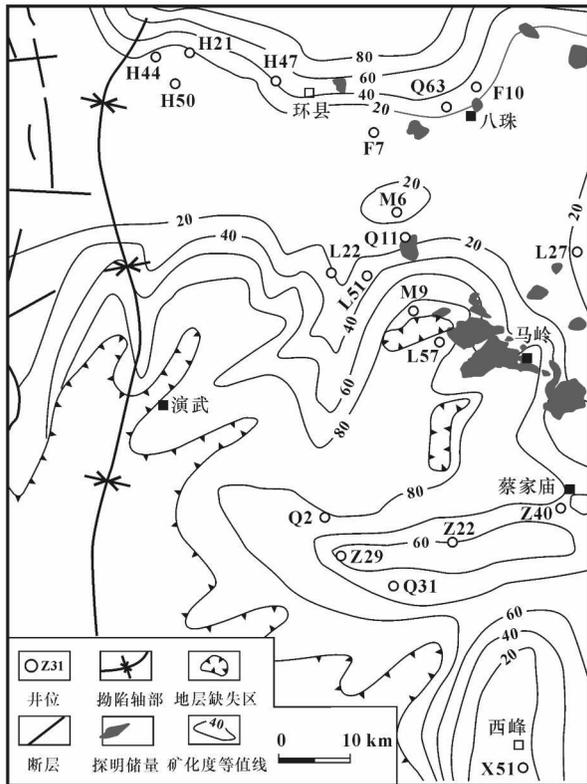


图 6 延安组延 10 油层水矿化度分布

Fig. 6 Salinity Distribution of the Oil Water in Yan 10 Formation

渐增大的趋势符合垂向分带规律,反映延长组地层封闭性好于延安组地层,裂缝及超前注水开发对地层水矿化度可能产生影响。

(3)油田水高矿化度、低还原系数区表明地层封闭性好,水交替作用缓慢,有利于油气聚集及保存,为石油勘探的有利目标。

参考文献:

- [1] 王 锋, 刘池洋, 赵红格. 鄂尔多斯西南北向拆离滑覆构造[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(1): 17-21.
- [2] 刘池洋, 赵红格, 王 锋, 等. 鄂尔多斯西缘(部)中生代构造属性[J]. 地质学报, 2005, 79(6): 737-746.
- [3] 付金华, 郭正权, 邓秀芹. 鄂尔多斯盆地西南地区上三叠统延长组沉积相及石油地质意义[J]. 古地理学报, 2005, 7(1): 34-43.
- [4] 杨 华, 张文正. 论鄂尔多斯盆地长 7 段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用[J]. 地球化学, 2005, 34(2): 147-154.
- [5] 王 震, 李仲东, 惠宽洋, 等. 鄂尔多斯盆地镇泾地区中生界油气成藏条件分析[J]. 天然气勘探与开发, 2007, 30(2): 21-26.

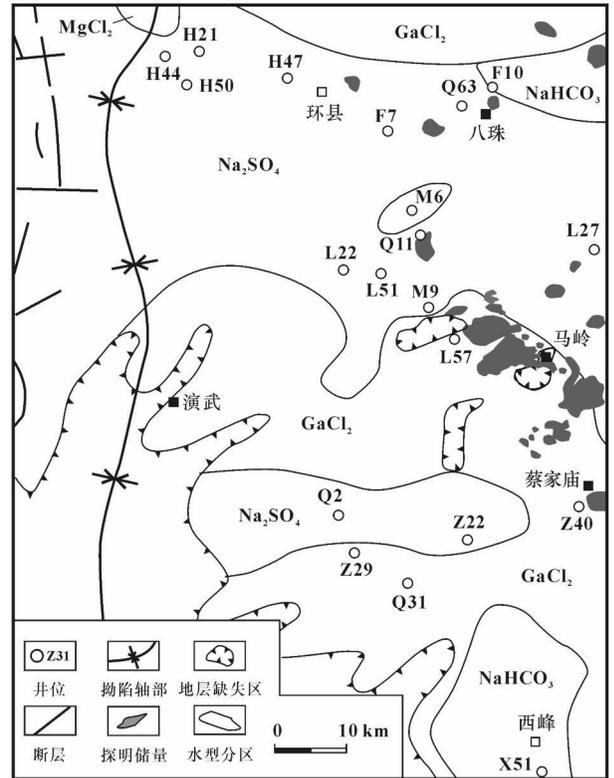


图 7 延安组延 10 油层水型分布

Fig. 7 Distribution of the Different Oil Water Types in Yan 10 Formation

- [6] 杨 颢, 郭正权, 黄锦绣, 等. 鄂尔多斯西南部延长组过剩压力与油藏的关系[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(2): 49-52.
- [7] 万丛礼, 付金华, 张 军. 鄂尔多斯西缘前陆盆地构造热事件与油气运移[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(2): 43-47.
- [8] 刘方槐, 颜婉荪. 油田水文地质学原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991.
- [9] 汪蕴璞, 汪 珊. 西湖凹陷油气运聚成藏的水文地质论证[J]. 中国海上油气地质, 1997, 11(5): 305-310.
- [10] 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(12)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.
- [11] 张润合, 郑兴平, 徐献高, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组四、五段泥岩生烃潜力评价[J]. 西安石油学院学报: 自然科学版, 2003, 18(2): 9-13.
- [12] 张金川, 唐 玄, 边瑞康, 等. 塔河地区奥陶系油田水分布与运动学特征研究[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1136-1142.
- [13] 陈 磊. 焉耆盆地油田水无机地球化学特征及与油气保存的关系[J]. 河南石油, 2006, 20(3): 11-14.
- [14] 李 伟, 刘济民. 吐鲁番凹陷油田水化学特征及其石油地质意义[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(5): 13-18.
- [15] 朱岳年. 辽河盆地西部凹陷欢双地区下第三系油田水体系及地球化学场[J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 567-571.