

Hydrodynamic Accumulation Mechanism of Putaohua Reservoir in Shengping Oilfield of Songliao Basin

Yongzhuo Wang

Research Institute of Petroleum Exploitation and Development, Daqing Oilfield Company, PetroChina, Daqing Heilongjiang

Email: 402910621@qq.com

Received: Dec. 13th, 2017; accepted: Mar. 24th, 2018; published: Jun. 15th, 2018

Abstract

Shengping Oilfield was located in Shengping Nose Structure of Sanzhao Depression extending from Suiling Anticline Belt to the central depression in the northeast of Songliao Basin. Oil-water distribution in the Putaohua Reservoir was complex and there was no uniform interface between oil and water in the whole oilfield. The reservoir pressure, physical properties of crude oil, the composition of formation water and other aspects were different with those of conventional static reservoirs. The aim of this paper was to explore whether or not the infiltration of the inflow of ambient water into the perimeter of the basin affected the formation and distribution of the reservoir. Based on the analyses of the reservoir profiles in different directions, the fluid properties of oil-water in the plane and the temperature and pressure distribution of reservoirs, it indicates that the formation of Putaohua Reservoir in Shengping Oilfield is derived from the Sanzhao oil generating sag, oil and gas migrate upward along the updip-nose tectonic upwelling and obscured by the hydrodynamic blockage of the atmospheric infiltration in the northeast uplift of the basin in the upwelling and the hydrodynamic traps are formed by the uplifting nose structure. Based on the understanding, the distribution range of the oilfield is redefined and the favorable extension potential area is determined.

Keywords

Nose-like Structure, Oil-water Interface, Hydrodynamic Trap, Recognition of Oilfield Geology

松辽盆地升平油田葡萄花油层水动力成藏机制研究

王永卓

中石油大庆油田勘探开发研究院, 黑龙江 大庆

作者简介: 王永卓(1965-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事石油地质方面的科研工作。

Email: 402910621@qq.com

收稿日期: 2017年12月13日; 录用日期: 2018年3月24日; 发布日期: 2018年6月15日

摘要

升平油田位于松辽盆地东北部绥棱背斜带向中央坳陷区延伸的三肇凹陷升平鼻状构造上, 葡萄花油层油水分布复杂、全油田无统一的油水界面。油层压力、原油物理性质、地层水组成等方面与常规静态油藏性质有一定区别。盆地周边活跃的大气水下渗向心流水体是否对油藏形成与分布有所影响, 成为研究的重点。通过对油藏不同方向油藏剖面、平面上油水流体性质、油藏温度压力等分布特点的分析认为, 升平油田葡萄花油藏的形成, 是来源于油田西南方向三肇生油凹陷的油气沿升平鼻状构造上倾方向运移, 受盆地东北部隆起区大气水下渗向心流的水动力遮挡, 在升平鼻状构造形成的水动力圈闭。利用该认识, 重新圈定了油田分布范围, 确定了有利外扩潜力区。

关键词

鼻状构造, 油水界面, 水动力圈闭, 油田地质再认识

Copyright © 2018 by author, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

升平油田位于松辽盆地中央坳陷区三肇凹陷升平鼻状构造上, 该构造属于松辽盆地东北部绥棱背斜带向西南方向的构造延伸。葡萄花油层为研究区主力产层, 为一套以北部物源为主的深色泥岩、泥质粉砂岩、含油粉细砂岩组成的三角洲前缘沉积, 砂体分布广泛[1]。油水分布复杂, 垂向上, 上部为纯油, 中部为油水同层, 下部为水层, 以往研究认为是由于葡萄花油层一段上部(以下简称“葡I上”)和葡萄花油层一段下部(以下简称“葡I下”)2个层系含油性差异所造成; 横向上, 升平鼻状构造整体含油连片, 南北向发育的大断层控制着油水分布, 表现为鼻状构造上发育纯油层, 构造两翼发育油水同层, 以往研究认为是受到岩性、物性和断层等因素的影响, 造成全油田无统一的油水界面。

升平油田油水分布的复杂性, 造成对油田分布范围认识不清, 制约了对该油田外扩潜力的认识, 影响了油田的滚动勘探与开发。该次研究为了整体把握升平油田油水分布特征, 对研究区内探井、评价井及开发井的试油资料进行整理, 以砂岩综合解释结果、试油成果与开发数据为依据, 沿构造走向和垂直

构造走向绘制油藏剖面图, 解剖油水分布特征, 总结油田整体油水分布情况, 归纳油水分布主控因素。

2. 油水界面特点

沿构造走向和垂直构造走向绘制油藏剖面图, 不同方向的油藏剖面展示的油水分布各有特点, 但又存在内在联系。总体而言, 2 个方向的剖面在垂向上都表现为上部油层、中部油水同层、下部水层的特点, 但横向上油水分布差异大。北东-南西向油藏剖面, 在西南部构造较低部位以油水同层和水层为主, 中部鼻子构造高部位以油层和油水同层为主, 在东北部构造高部位以水层为主, 整体上油水界面呈倾斜状, 并且倾斜角度相对较大; 北西-南东向油藏剖面, 中间构造高部位以油层和油水同层为主, 两侧低部位以油水同层和水层为主, 其油水界面倾斜角度较小或者近似水平状。因此, 研究区平面上鼻状构造高部位和低部位都见水, 只在构造腰部出现很窄的纯油带, 沿构造倾伏方向油水界面向同倾斜, 垂直构造倾伏方向油水界面近似水平, 与常规构造油藏静态油水分布油水界面大致水平的特征有明显差异。

3. 地层压力、温度系统与流体性质特征

升平油田葡萄花油层静水压力在 11.34~16.4 MPa 之间, 压力系数在 0.78~1.11 之间, 平均为 0.95, 压力系数多小于 1, 属于正常-相对欠压体系。纵向上随油层海拔深度的增加, 即在平面上由鼻状构造高部位向低部位倾伏方向, 欠压程度逐渐增强; 较浅部地温梯度略高于较深部, 即鼻状构造高部位地层温度低于正常地温, 疑有外源流体进入(图 1)。

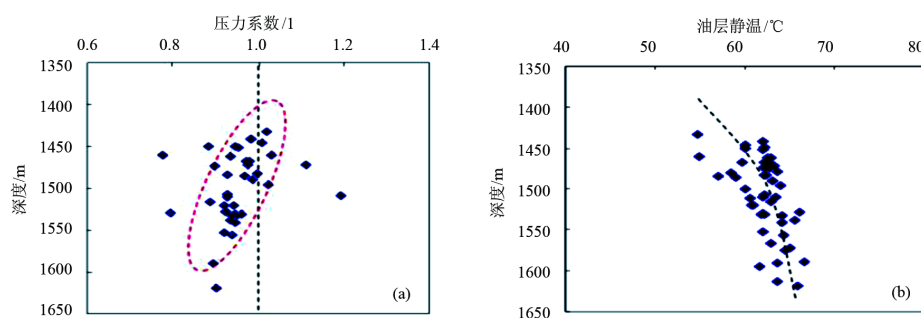


Figure 1. The relation between static pressure coefficient (a), static temperature (b) and depth of the reservoir
图 1. 油层静水压力系数(a)、油层静温(b)与深度关系图

在东北部鼻状构造高部位, 原油密度、黏度均较高, 向构造倾伏的西南侧, 密度、黏度均降低。高部位油重、深部位油轻, 与正常油藏原油重力分异现象相反, 疑有大气水下渗向心流冲刷, 出现原油稠化现象(图 2)。

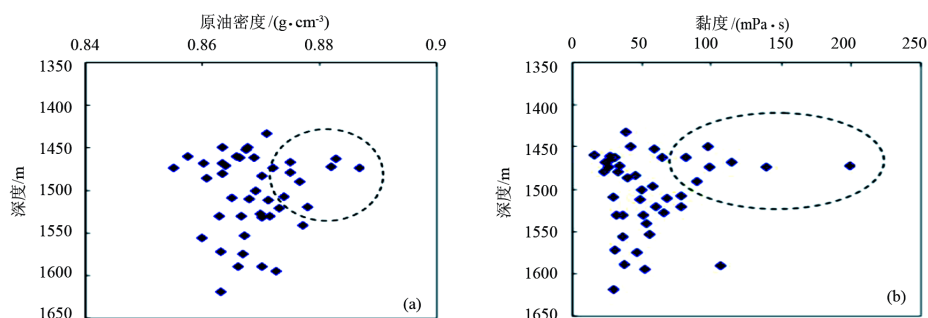


Figure 2. The relation between density (a), viscosity (b) and depth of crude oil
图 2. 原油密度(a)、黏度(b)与深度关系图

东北部升平鼻状构造高部位，地层水矿化度较低，向西南随着构造深度的增加，地层水矿化度逐渐升高，说明大气渗流水动力自北东向南西逐渐减弱(图 3)。

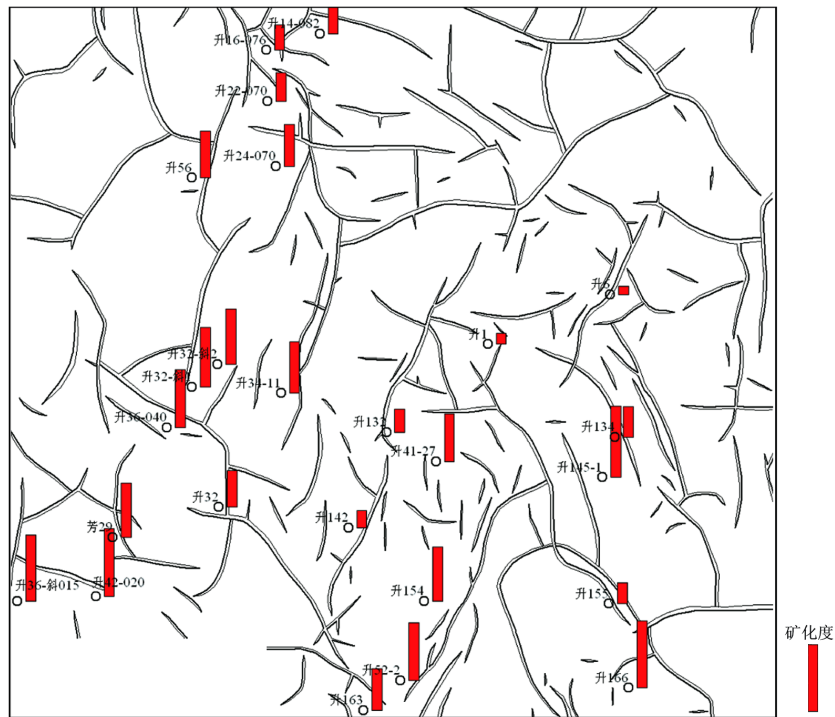


Figure 3. The plane distribution of salinity in formation water
图 3. 地层水矿化度平面图

4. 地层水水动力(水头)分析

估算地下地层中各点的流体势并绘制等值线图，确定地下水介质中油气的运移情况，断定能够形成油气聚集的区域——水动力圈闭，这是油气藏水动力勘探方法的基本原理。具体方法是根据测试获得的压力资料，计算出水力压头(简称水头)，作出水头等值线图，即测势能面图。

前人研究已经证明，在水动力条件下，油水界面会发生倾斜，其倾角与测势面坡度(水头梯度)有关(图 4) [2] [3]:

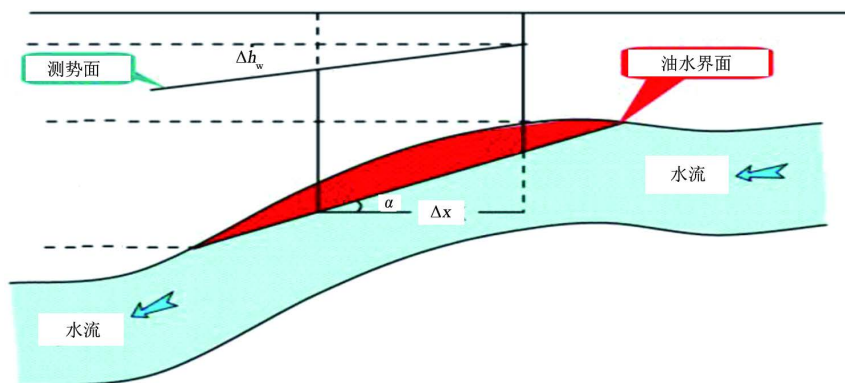


Figure 4. The relation between dip angle of oil-water interface and water head gradient
图 4. 油水界面倾角角度与水头梯度关系图

$$\text{tg}\alpha = \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_o} \frac{\Delta h_w}{\Delta x} \tag{1}$$

式中： α 为油水界面的倾角，(°)； ρ_w 和 ρ_o 分别为地层水和原油的密度， g/cm^3 ； Δh_w 为水头， m ； $\Delta h_w/\Delta x$ 为水头梯度， 1 。

根据油水密度和水头变化梯度，计算出研究区油水界面倾角约为 2.8° 。

根据水头计算公式，求取研究区葡萄花油层水头数据，消除个别异常点，计算地层水水头平面分布。由图 5 可以看出，葡萄花油层一段(以下简称“葡 I 段”)随深度增加压力系数降低，从北东到南西方向，水头减小，与区域分析北东方向隆起区有大气水下渗向心流水体认识相符合[4] [5]。

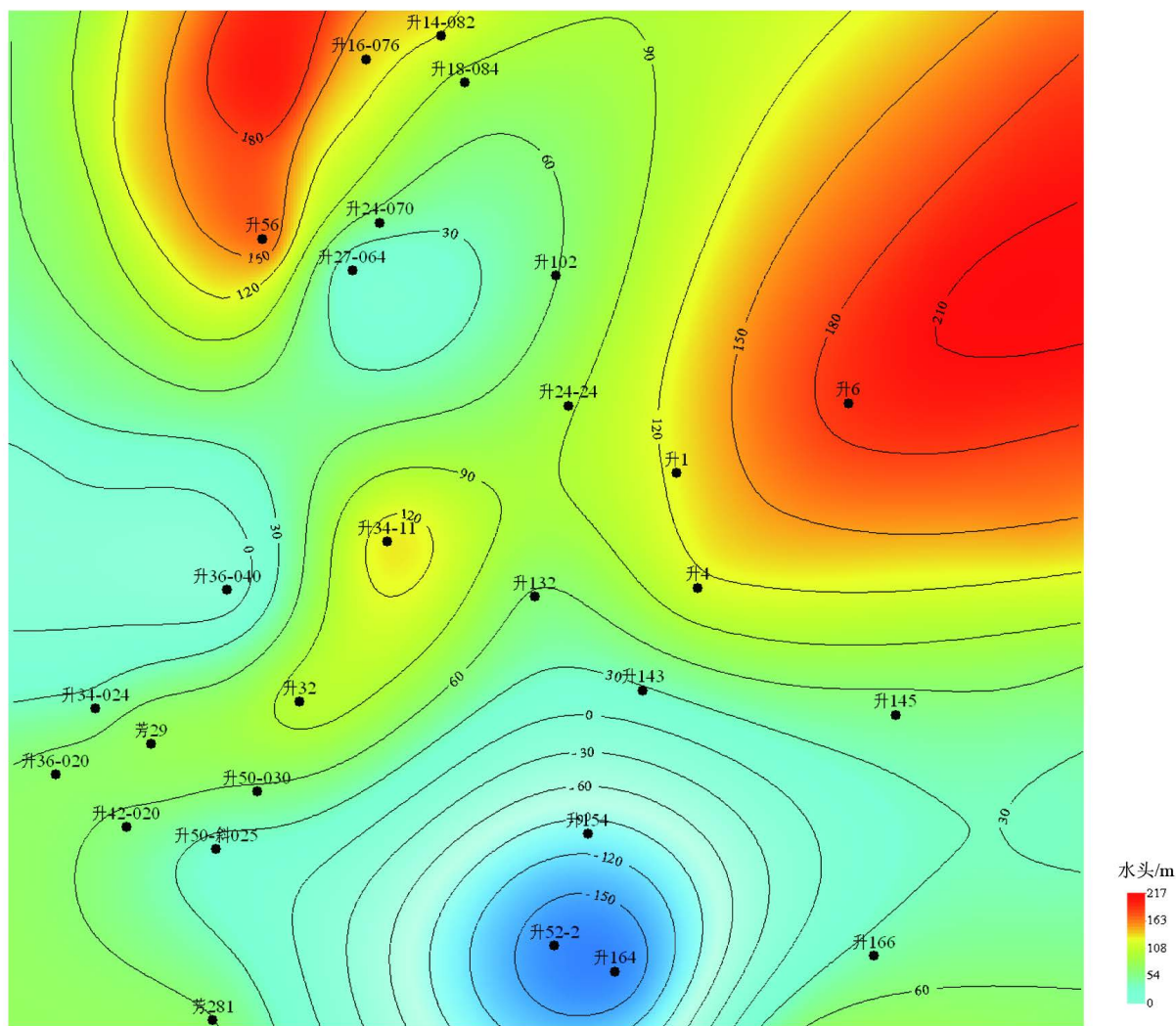


Figure 5. The water head distribution of Segment Pu-I in Putaohua Reservoir
图 5. 葡 I 段水头图

5. 成藏模式的建立

流体流动受流体势能场分布的控制。地层水流动受地层水势能场的控制，油、气流动受油势场和气势场的控制，各种流体都是从高势能区向低势能区流动[6] [7]。由于油、气、水三者物理性质的差异，地

下各点油、气、水势能场各不相同，从而造成油、气、水 3 种流体流动方向的差异。处于水介质中的油珠或气泡，在同水一起运移过程中，会受到向上的浮力、向下的重力和水动力的共同影响。当油、气、水三者运移方向不同时，各种流体势场不一，为三者的分离创造了条件。当遇到油、气势能局部降低的区域，油、气即可在其中停留并聚集起来，直到所积蓄的能量足以让油气克服上覆盖层所构成的毛细管压力遮挡为止。向下的水流形成的水动力与向上浮力可以形成相对的平衡，形成油气运移的低势区，使油气聚集而形成水动力圈闭油气藏。

升平油田鼻状构造高部位出现水井，预示着其油气聚集与常规静态油藏油水分离有着明显的差异[8][9][10][11]。根据多条沿构造倾伏方向的油藏剖面揭示，油水界面与鼻状构造倾伏方向同向倾斜，且沿鼻状构造倾伏方向压力梯度递减，鼻状构造高部位水头高于低部位，说明在鼻状构造高部位水动力较强，存在顺鼻状构造倾伏方向的地层水流。而该种指向鼻状构造倾伏方向的水动力，可以对来源于倾伏下方三肇生烃凹陷[6]并沿地层上倾方向运移的油气形成水动力遮挡，构成水动力圈闭，且使油水界面发生顺水流方向的倾斜。由此确定升平油田葡萄花油层属于鼻状构造背景下的水动力圈闭油藏(图 6)。

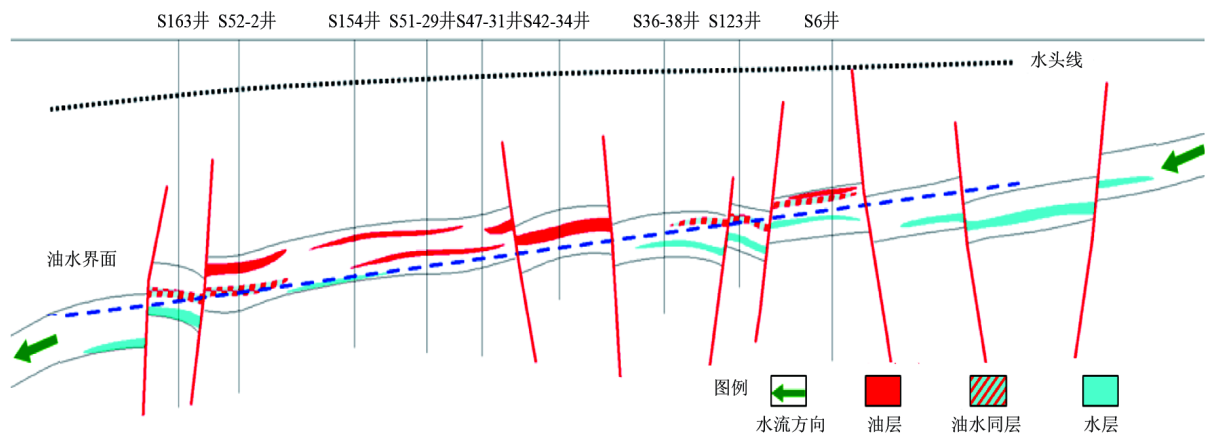


Figure 6. The oil and gas accumulation mode of hydrodynamic traps in Segment Pu-I in Putaohua Reservoir
图 6. 葡 I 段水动力圈闭油气成藏模式

6. 成藏模式建立的意义

水动力圈闭成藏模式能够解释说明目前升平油田遇到的众多问题。

1) 油水界面不统一，由构造高部位到低部位，油水界面也随之由高到低变化。以往研究往往以河流三角洲相储层与断层复杂化鼻状构造多种配置关系形成众多相互独立的构造、岩性油藏，不具备统一油水界面来解释，尤其是用开发地质意义上的分割性概念来解决油藏形成的问题。升平油田水动力成藏模式，能够解释说明油水界面不统一的问题，而且油水界面的高低差异正是水动力圈闭倾斜油水界面统一性的反映。

2) 葡 I 上含油性好于葡 I 下，纯油层少。以往研究认为葡 I 上含油性好于葡 I 下是地层层序结构对含油性的控制，上、下之间有一个潜在的层或者是地质界面作为非渗透遮挡层控制着油水分布。从层序发育过程上来说，葡 I 上与葡 I 下是一连续地层层序发育过程中的沉积产物，层序之间不存在明显差异，属于同一套储集层系。而油水分布纵向差异，上部多油下部多水，能够用水动力圈闭成藏机制来解释：葡 I 上多为油势场低势区聚集成藏，葡 I 下多为地下水向下流动的通道，不易形成油气聚集而成为水层。在较高垒块上，由于葡 I 下构造高程相对较高，整个葡 I 段处于倾斜油水界面之上，地层水流可以绕邻块地层砂体流动，形成全井段含油。反映出在鼻状构造腰部，砂体充油程度高于鼻状构造高部位和低部位，

高断块充满程度高于低断块,断块高点充满度高于构造低点的现象。鼻状构造油藏单井油层纵向充满程度是倾斜油水界面与鼻状构造地层顶界所构成闭合高度的反映。

3) 构造高部位水多油稠,高阻层试油出水。以往研究较少提及油藏高部位的油稠现象,对高部位水多解释为远离油源,没有油气聚集。利用水动力圈闭成藏机制,能够对该现象进行很好的解释,即构造高部位水动力强,使原油遭受水洗发生生物降解而稠化,或者是地层倾角大于倾斜油水界面倾角而不能构成圈闭条件,不能聚集油气而成为水层。原油稠化,流动性降低,测井为高阻,但缺乏流动性,试油出水。

7. 结语

水动力场往往以区域展布的规模存在,有地域性的大地构造背景。因此,在相同水动力环境下,能够形成多个类似的水动力圈闭。水动力不仅能与鼻状构造配置形成圈闭条件,也可以对常规背斜、断块圈闭进行油水调整,改变原有圈闭形态与规模。分析升平油田周围其他构造或者是斜坡部位,寻找构造与水动力复合油藏,或者是斜坡部位因岩性变化与水动力构成圈闭条件形成的油气藏,可以作为升平临近区域油藏勘探的研究方向。从盆地整体角度,对水动力成藏及水动力条件进行分析,分析油、气、水流体势场分布,有助于发现盆地斜坡、盆地深部低渗透储层区域的非常规油气聚集、成藏,对整体认识含油气盆地,开展新层系、新领域勘探评价有积极意义。

基金项目

国家科技重大专项(2017ZX05013006)。

参考文献

- [1] 赵翰卿,付志国,吕晓光. 松辽大型河流-三角洲储层精细地质模型[M]. 北京:石油工业出版社,2004.
- [2] 杨绪充. 论含油气盆地地下水动力环境[J]. 石油学报,1989,10(4): 27-34.
- [3] 刘方槐,颜婉荪. 油气田水文地质学原理[M]. 北京:石油工业出版社,1991.
- [4] 楼章华,蔡希源,高瑞祺. 松辽盆地流体历史与油气藏分析[M]. 贵阳:贵州科学技术出版社,1998.
- [5] 赵海卿,赵勇胜,杨湘奎,等. 松嫩平原地下水资源及其环境问题调查评价[M]. 北京:地质出版社,2009.
- [6] 杨万里,高瑞祺. 松辽盆地陆相油气生成运移和聚集[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1985.
- [7] Zhang, Y.M., Ding, X.Q. and Yang, P. (2016) Reservoir Formation Mechanism Analysis and Deep High-Quality Reservoir Prediction in Yingcheng Formation in Longfengshan Area of Songliao Basin, China. *Petroleum*, 2, 334-343.
- [8] 张林. 渭河盆地地热及伴生水溶气资源探索及远景预测[D]: [博士学位论文]. 西安:长安大学,2014.
- [9] 孙雨. 河流三角洲体系高分辨率层序地层及岩性类油藏成藏规律研究[D]: [博士学位论文]. 大庆:东北石油大学,2010.
- [10] 张远兴. 东海西湖凹陷流体动力场演化及其对油气成藏的影响作用[D]: [硕士学位论文]. 武汉:中国地质大学(武汉),2009.
- [11] 王威. 中扬子区海相地层流体特征及其与油气保存关系研究[D]: [博士学位论文]. 成都:成都理工大学,2009.

[编辑] 龚丹

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2471-7185，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jogt@hanspub.org