

文章编号: 1001-6112(2006)05-0472-04

# 大庆长垣西侧扶杨油层油水同层形成及识别

赵文革<sup>1</sup>, 黄薇<sup>2,3</sup>, 林景晔<sup>3</sup>, 张帆<sup>3</sup>

(1. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610059; 2. 中国地质大学, 北京 100083; 3. 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712)

**摘要:**结合松辽盆地大庆长垣西侧扶余、杨大城子油层的勘探实践,从顶生下储的特殊成藏原理出发,详细地讨论了扶余、杨大城子油层的油水层形成机理,提出了 2 种形成模式。认为扶杨油层的油水同层是在以上覆烃源岩的超压为驱动力的成藏条件下形成,油水混合运移注入储层,由于储层的孔喉小,油水重力分异不好,造成孔隙存油,喉道存水。这种低渗透储层孔隙结构复杂,含油饱和度低,油水在孔隙中分布状况特殊,使得电阻率等曲线反映流体的信息变弱,造成油水层识别变难。为此提出多参数降维油气水层识别方法,经实际应用取得较好的效果。

**关键词:** 油水同层; 势平衡流; 油水层识别; 扶杨油层; 松辽盆地

**中图分类号:** TE122.2

**文献标识码:** A

松辽盆地大庆长垣西侧的扶余、杨大城子油层(简称扶杨油层)属低渗透砂岩储层。低渗透砂岩储层一般系指空气渗透率小于  $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的含油砂岩储层<sup>[1]</sup>。低渗透砂岩油藏现已成为勘探的重要领域。低渗透油层的渗流特征与中、高渗透层显著不同<sup>[2]</sup>,研究低渗透率储层的成藏机理、油水同层成因及识别方法对今后的勘探开发有着重要意义。

## 1 问题的提出

在过去三肇地区的勘探过程中,人们已经形成了扶杨油层不产水的观念。对储层的油水层解释时一般根据储集层所处层位,结合深侧向电阻率、自然电位、感应等对流体性质反映较敏感的参数及反映地层孔隙发育状况的中子、密度参数就可以判定储层的含油程度。松辽盆地大庆长垣以西地区扶杨油层也属低渗透砂岩储层,最初也曾被认为油水关系比较简单,但随着勘探的不断深入,长垣以西地区的扶杨油层出现了试油产水或水力压裂后试油产水现象。通过对扶杨油层 165 口井试油结果统计,试油出水井有 53 口,占总井数的 32%;试油出现误判井 46 口,占出水井的 86.8%。由于本区扶杨油层多为压裂合试层,所以误判层不易确定。扶杨油层综合解释符合率低,造成了试油等工程上投资的浪费。为此,需要研究扶杨油层油水同层形成机理及识别方法。

## 2 大庆长垣西侧扶杨油层的成藏过程

研究扶杨油层油水同层形成机理,必须首先研

究大庆长垣以西地区扶杨油层的成藏过程。该区扶杨油层的油源来自上覆青山口组一段烃源岩,这种生储关系是特殊的地层关系造成的。扶杨油层的成藏过程与区域构造活动密切相关,青一段生油岩在嫩江组末期达到了向烃类转化的生油门限,开始进入生油期与排油期<sup>[3]</sup>。以源岩的超压为动力,以断层和不同规模的裂缝为通道,将青一段生油岩下部的烃类下排到扶杨油层。当遇有好储层并达到一定的油柱高度时,在浮力的作用下便开始侧向的二次运移,即前人所说的“U”字形运移<sup>[4]</sup>(图 1)。

侧向运移的通道是由断层、裂缝构造的断裂系统和错迭连片的砂体构成的输导层共同组成的。油气沿着扶杨油层中上部的大孔喉及断裂通道,由凹陷向两侧构造高部位侧向运移。明水组末期、老第三纪末期的构造运动,使得扶杨油层顶面构造幅度高差增大,在断裂活动期油气沿着开启的断裂向下运移,进入储层后作侧向运移的规模也增大。齐家—古龙凹陷轴部油柱高度小,向环齐家—古龙凹陷周边各鼻状构造处油柱高度变大,古龙东侧葡萄地区油柱高度达 275 m,凹陷西侧油柱高度达 218 m,而向斜区内油柱高度在 50 m 左右<sup>[5]</sup>。

成藏期研究表明,大庆长垣西侧扶杨油层大规模油气运移是从嫩江组沉积末期开始,到明水组沉积末期以侧向运移为主。这一时期是构造油藏形成的有利时期,长垣上各油田由此产生<sup>[6]</sup>;到依安组沉积末期(35 Ma),在挤压应力场的作用下,扶杨油层形成了保存至今的油藏。

收稿日期: 2005-12-26; 修订日期: 2006-07-27。

作者简介: 赵文革(1968—),男(汉族),黑龙江海伦人,博士生、高级工程师,主要从事石油地质科研与管理工作。

基金项目: 国家科技攻关项目(2003BA613A-01-02)。

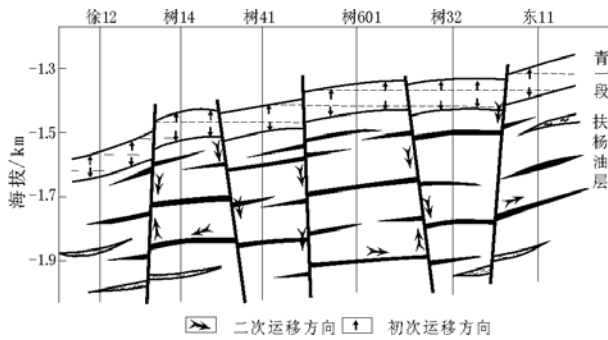


图 1 扶杨油层顶生下储“U”字形油气运聚示意

Fig. 1 A sketch map showing the “U” shape migration and accumulation of the hydrocarbon in Fuyu-Yangdachengzi pay zone with upper source rock and lower reservoir

### 3 扶杨油层油水同层形成机理及模式

众所周知,油气在烃源层中运移以及向运载层或储集层中运移称为初次运移;油气进入储集层或运载层以后的一切运移统称为二次运移。二次运移是油气沿断层、裂隙、不整合面等通道的运移以及聚集起来的油气由于外界地质条件的变化而发生的再次运移<sup>[7]</sup>。由大庆长垣西侧扶杨油层的成藏过程可知,青一段生油岩产生的烃类以超压为动力向扶杨油层运移。根据油气在储集层中流动的状态和通道情况,油气的二次运移有多种模式。扶杨油层这种运移模式国外学者称为势平衡流,国内称为涌流、破裂流,它是异常高压或高压封隔体发生水力破裂而产生的一种流动,在石油地质学中目前尚无明确的定义。李明诚教授指出它具有 3 方面特征:在运移相态上可以是油、气、水 3 相混流;在发生时间上是间歇式或幕式;在流动状态上属湍流式的涌出<sup>[7]</sup>。总之,势平衡流是在异常高压作用下的一种流动,它既不是渗流更不属浮力流,而是地下单独存在的一种流动类型<sup>[7]</sup>。

由此看来,青一段烃源岩产生的油气的初次运移与向下进入扶杨油层的二次运移,都是以超压为驱动力连续进行的运移;油气进入储层后有的还要进行侧向运移,即前面所说的“U”字形运移。因此,扶杨油层的成藏模式有 2 种。第一种模式是油源初次运移离开源岩进入储层,在超压的作用下,油以游离相与水混合注入储层,在缺少通道的情况下,油水保存于储层内形成油水同层,这是“U”字形运移前段情形。此种模式下储层物性及砂体产状(厚度、大小、倾角)等因素直接影响储层内油水分离。在储层物性好及砂体厚度大且延伸长、倾角

大的情况下,储层中容易产生上油下水;在储层物性差及砂体厚度薄且延伸短、倾角小的情况下,储层中油水的重力分异不好,造成孔隙存油,喉道存水。再者,岩石不同的润湿性造成油、水 2 相在孔隙中的流动方式、残留形式和数量不同。扶杨油层润湿性测定显示,润湿角为 50°,为水湿。有学者研究发现,在我国已发现的低渗透砂岩储层基本上为亲水润湿类型<sup>[1]</sup>。在亲水岩石中,孔壁及颗粒表面为水所润湿,而油相被挤到孔隙中心部位。扶杨油层属亲水的低渗透储层,其油水同层中油的分布就是这种被水包围呈孤立的油珠状(图 2)。

扶杨油层的第二种成藏模式是油在源岩的超压作用下,以游离相与水混合注入储层。在势平衡流中油的浮力在流动过程中几乎不起作用,但油水在储层内进入储层越远,源岩的超压作用越弱,油在连通的大孔道内渐渐地形成连续的油柱。随着油柱变大其浮力也越大,当能够克服运动阻力时,便开始在浮力的作用下运移。侧向运移的通道是由断层、裂隙和错迭连片的砂体、主要是大喉道部分构成<sup>[8]</sup>。这是“U”字形运移的后期情形。油在砂岩大喉道内侧向向外运移过程中,如遇到断层、构造或岩性等因素遮挡便可聚集成藏<sup>[9,10]</sup>。以浮力为驱动力形成的油藏一般在砂体内部容易产生纯油层或者是上油下水。

### 4 低渗透油水层的识别方法

扶杨油层属低渗透储层,孔隙结构比较复杂,尤其是油水同层,这就使得电阻率等曲线反映流体部分的信息变弱。再者,扶杨油层产水层在层位、区域构造上无明显的规律性,象过去用测井资料建立二维图版的方法难以识别储层流体性质,识别油水同层难度更大。从原理上讲,二项参数的二维

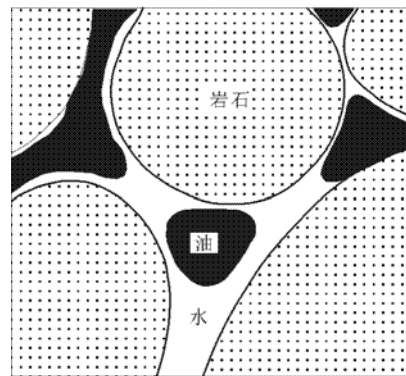


图 2 亲水岩心孔隙介质中油的分布形式  
Fig. 2 Distribution form of the oil in the pore of water-wet core

图版是在二维空间里比较储层所含流体的属性,若是复杂的油层是难以区分的。为此采用多参数,即相当于在多维空间、立体地比较储层所含流体的属性,再运用因子分析算法,将多参数进行线性组合实行降维处理,展到二维平面,这就是“多参数降维油气水层判别方法”,把这种方法编成软件,使用方便、灵活。

### 5 多参数降维油气水层判别方法应用实例

lx 地区位于大庆长垣西部,扶余、杨大城子油层是其主要的勘探目的层。由于油层孔渗低、含油饱和度低等原因,采用传统的建立二维图版的方法判别油水同层效果不理想。因此使用多参数降维油气水层判别方法建立了较高精度的图版(图 3)。

建立图版的数据来自已通过试油证实的 16 口探井,其中油层 34 层,油水同层 8 层,水层 9 层,共计 55 个数据。选用深侧向电阻率、微球聚焦电阻率、自然电位、声波时差、补偿中子、补偿密度、自然伽马等 7 个测井参数建立判别图版。油水层判别图版参数的部分原始数据见表 1。

运用因子分析法进行分类训练,经 R 型因子分析结果表明,第一主因子( $F_1$ )的特征比例值是 56.54%,第二主因子( $F_2$ )的特征比例值是 31.07%,二者累计特征比例值为 87.61%,完全可以代表整个数据矩阵。7 个测井参数在  $F_1$  和  $F_2$  主因子载荷轴上的得分见表 2。

从图版(图 3)的精度来看,其中有 2 个油水同层误入油层区,图版精度为 96.4%。另外,本方法还在汤家围子等 8 个地区,包括葡萄花、高台子等油层进行了应用,均取得相当好的效果。

表 1 lx 地区扶杨油层油水层判别图版原始数据(部分)

Table 1 Original data being used to distinguish oil and water intervals in Fugu-Yangdachengzi pay zone in lx area Cpart

井号	层号	微球聚焦电阻率/ $\Omega m$	深侧向电阻率/ $\Omega m$	声波时差/ $\mu s/ft$	补偿中子, %	补偿密度/ $(g \cdot cm^{-3})$	自然电位/ $mV$	自然伽马(API)	测试结果
L19	36	110	43	70	13	2.51	0	55	油层
L23	27	35	20	74	14	2.40	0	78	油层
L23	34	70	42	73	12	2.47	0	70	油层
L23	38	40	29	73	14	2.46	0	70	油层
T113	56	29	19	77	17	2.42	0	60	油层
T113	58	20	16	76	15	2.45	1	60	水层
Y251	62	33	38	70	13	2.45	11	70	油水
T34	29	16	15	77	18	2.38	6	60	水层
T34	30	18	16	74	18	2.38	18	60	水层
T34	32	18	14	75	16	2.46	8	60	水层
T34	31	18	18	77	17	2.34	20	50	水层
T23	15	50	34	72	15	2.47	10	63	油水
T113	57	27	22	79	19	2.34	10	55	油水

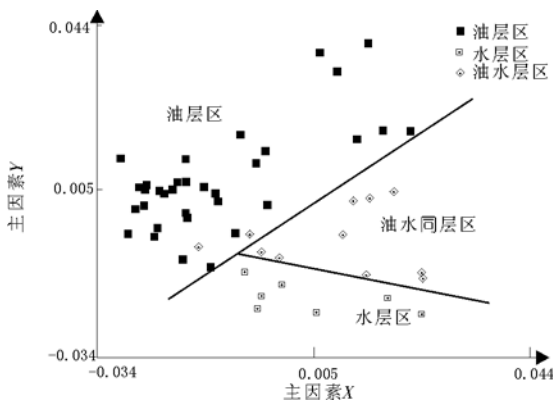


图 3 lx 地区位扶杨油层油水层判别图版

Fig. 3 Distinguishing map of oil and water intervals in Fuyu-Yangdachengzi pay zone in lx area

表 2 R 型因子分析结果

Table 2 Result of R-type factor analysis

测井参数	$F_1$ 因子得分	$F_2$ 因子得分
深侧向电阻率	0.092 3	0.063 6
微球聚焦电阻率	0.009 1	0.007 5
声波时差	0.003 8	-0.001 5
补偿中子	0.003 5	0.001 2
补偿密度	0.004 5	0.001 4
自然电位	0.082 5	-0.082 3
自然伽马	-0.066 1	0.015 4

## 6 结束语

像松辽盆地扶杨油层这种顶生下储式的低渗透储层,油水同层是成藏时形成的。储层内流体的性质除与砂体的物性、产状(厚度、大小、倾角)有关外,还与油气运移的驱动力性质有关。美国石油地质家协会(AAPG)非常规油气系统研究组提出,常规天然气资源都是由浮力驱动的气藏,而非常规天然气资源一般都不是由浮力驱动的气藏<sup>[11]</sup>。油藏也是如此,油气运移驱动力的性质影响油气成藏的性质。一般来讲,扶杨油层的油水同层基本是在源岩的异常压力,或其它以压力差为驱动力作用下形成的,在储层喉道小时容易出现油水的重力分异不好,造成孔隙存油,喉道存水。而以浮力为运移驱动力形成的油气藏基本以纯油层或上油下水为主。大庆长垣西侧这种低渗透储层因油水层分布复杂,尤其是油水同层的原始含油饱和度低等原因,电测井反映储层流体信号变弱,用传统的建立二维图版的方法难以判别,而多参数降维是解决这一难题比较好的方法。

## 参考文献:

- 1 曾大乾,李淑贞. 中国低渗透砂岩储层类型及地质特征[J]. 石油学报,1994,15(1):38~45
- 2 黄延章. 低渗透油层渗流机理[M]. 北京:石油工业出版社,1998.1~186
- 3 高瑞祺,蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京:石油工业出版社,1997.176~180
- 4 谭保祥,侯德艳. 三肇地区扶余、杨大成子油层油源与油气运移模式探讨[J]. 大庆石油地质与开发,1995,14(1):5~8
- 5 张革,林景晔,杨庆杰等. 松辽盆地西部扶杨油层成藏条件和勘探潜力[J]. 大庆石油地质与开发,2002,21(5):5~7
- 6 辛仁臣,田春志,窦同君等. 油藏成藏年代学分析[J]. 地学前缘,2000,7(3):48~54
- 7 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 第3版. 北京:石油工业出版社,2004.1~2,132~138
- 8 林景晔. 砂岩储集层孔隙结构与油气运聚的关系[J]. 石油学报,2004,25(1):44~47
- 9 侯启军,冯子辉,邹玉良. 松辽盆地齐家—古龙凹陷油气成藏期次研究[J]. 石油实验地质,2005,27(4):390~394
- 10 江兴歌,吕剑虹,樊云鹤. 运移路径模拟和应用尝试[J]. 石油实验地质,2002,24(5):455~459
- 11 Law B E, Curtis J B. Introduction to unconventional petroleum systems[J]. AAPG Bulletin,2002,86(11):1851~4852

## FORMATION AND IDENTIFICATION OF THE OIL WATER INTERVALS IN FUYU-YANGDACHENGZI PAY ZONE IN THE WEST OF DAQING PLACANTICLINE

Zhao Wenge<sup>1</sup>, Huang Wei<sup>2,3</sup>, Lin Jingye<sup>3</sup>, Zhang Fan<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Research Institute of Exploration and Development, Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing, Heilongjiang 163712, China)

**Abstract:** Starting from the formation principle of the special reservoir with top generation-bottom accumulation and combining the exploration practices for Fuyu-Yangdachengzi pay zone in the west of Daqing placanticline in the Songliao Basin, the formation mechanism of the water/oil intervals in Fuyu-Yangdachengzi pay zone was discussed in detail. Research shows that the water/oil intervals in Fuyu-Yangdachengzi pay zone formed under the reservoir-forming condition of taking the overpressure of overlying source rock as driving force. Oil mixing with water migrate into the reservoir. Because the pore throat of reservoir is small, gravitational differentiation of oil and water is not good leading to the oil in pore and water in throat. For this low permeation reservoir, the pore configuration is complicated, the oil saturation is low and the distribution of oil and water in pore is special. These make the electrical resistance curve reflecting fluid information and the identification of water/oil intervals more difficult. For this reason, the method of distinguishing water/oil/gas intervals by multiple parameter decrease dimensionality is put forward and achieved a good effect in actual application.

**Key words:** water/oil interval; potential balance flow; water/oil interval identification; the Fuyu-Yangdachengzi pay zone; the Songliao Basin