

文章编号: 1000-0550(2007) 03-0461-06

# 酒西坳陷青西凹陷窟窿山、柳沟庄油藏应属“源岩裂缝油藏”

程克明<sup>1</sup> 熊 英<sup>1</sup> 马立元<sup>2</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083 2. 中国石化石油勘探开发研究院 北京 100083)

**提 要** 剖析了酒西坳陷青西生油凹陷中发现青西油田的地质背景,研究了青西油田窟窿山和柳沟庄油藏的形成和分布规律及其控制因素,在此基础上提出了青西油田的窟窿山和柳沟庄油藏属于“源岩裂缝油藏”的新认识。同时论证了“源岩裂缝油藏”形成的特定地质条件和研究价值。提出“源岩裂缝油藏”的特殊意义就在于源岩层中可以找到油藏,其发现和深入研究,将进一步拓宽油气勘探领域,丰富石油地质理论,是一项具有重大科学意义和实用价值的研究课题。

**关键词** 生油凹陷 源岩裂缝油藏 成藏条件 青西凹陷 酒西坳陷

**第一作者简介** 程克明 男 1935 年出生 博士生导师 教授级高级工程师 油气地质地球化学

E-mail Chengkm078@sina.com

中图分类号 TE122 文献标识码 A

上世纪末,经历了近六十年勘探历程的酒西坳陷在其生油凹陷(青西凹陷)中发现了控制储量近亿吨的大油田—青西油田。为何在一个砂体极不发育的生油凹陷中有如此重大的发现?是什么因素在控制着生油凹陷中油气藏的形成和分布?为何在生油凹陷中所获的“源岩裂缝油藏”能稳产和高产?为了阐明上述问题,现将有关资料分述如下。

## 1 酒西坳陷的地质概况

酒西坳陷属祁连山褶皱系走廊过渡带,是一个中、新生代山前断陷盆地,东西长约 100 km,南北宽约 30 km,面积约 2700 km<sup>2</sup>,由青西凹陷、赤金凹陷、鸭北凸起、石大凹陷和南部凸起五个二级构造单元组成。该区自 1939 年 8 月老 1 井钻获工业油流发现老君庙油田以来,已经历了 65 年的勘探历程<sup>[1]</sup>,并先后发现了老君庙、鸭儿峡、石油沟、白杨河、单北和青西等 6 个油田(图 1)。

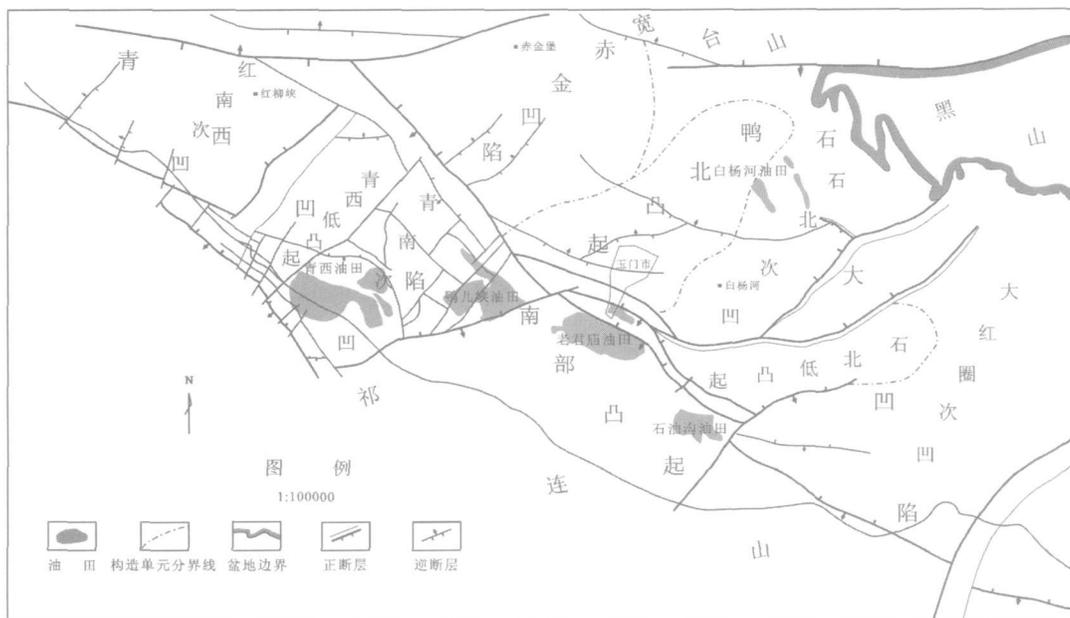


图 1 酒西坳陷构造单元划分图

Fig 1 Map showing structural units in Jiuxi Depression

生烃条件及油源研究表明,青西凹陷下白垩统下沟组及赤金堡组藻纹层泥质白云岩和白云质泥岩是该区主要烃源岩<sup>[2,3]</sup>。各油田原油中含氮化合物—二甲苯基唑(DMC)的油气运移研究表明:从鸭儿峡—老君庙—石油沟,这些油田原油中的 1,8DMC/1,6DMC 比值由 0.816 增至 1.406, 1,8DMC/2,3DMC 比值由 6.318 增至 11.283。这些比值的规律性增加表明了该区油气运移方向为自西向东,即由

青西凹陷下白垩统下沟组及赤金堡组富含有机纹层的泥质白云岩和白云质泥岩生成油气,并运移至鸭儿峡志留系潜山及老君庙、石油沟的第三系砂岩储集构造油藏<sup>[4]</sup>(图 2)。迄今,在石油沟山洞里上第三系白杨河组 M 层砂岩裂缝中原油仍不断外渗,且渗流面积逐年增大(图 3),表明了油气仍在继续运移。油源研究结果显示其仍源于青西凹陷下白垩统下沟组,可见,青西凹陷是酒西坳陷主要的生油凹陷。

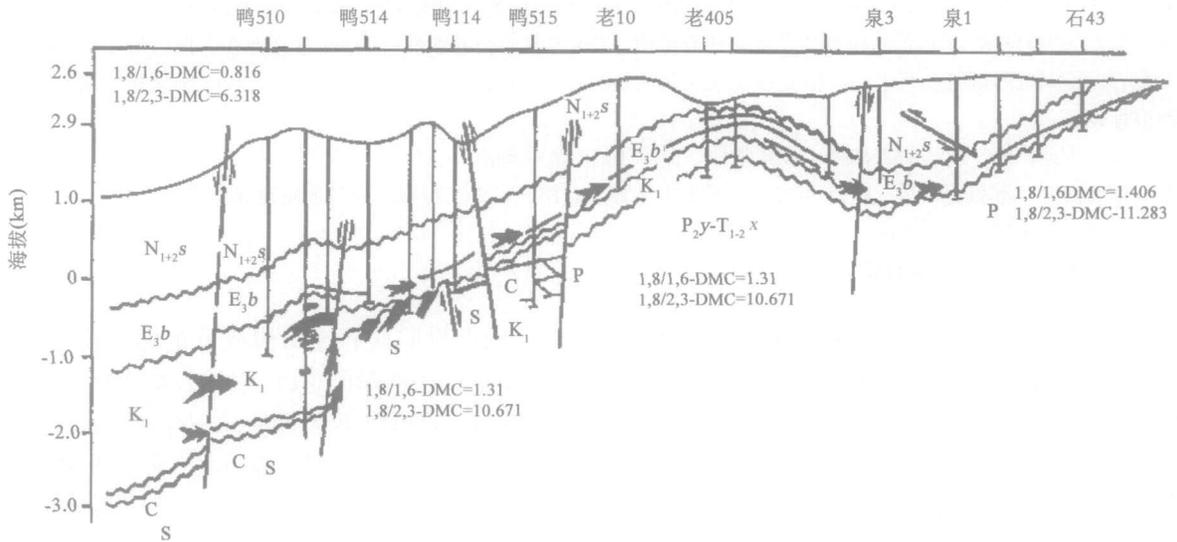


图 2 酒西坳陷油气运移方向示意图(引自文献[4])

Fig 2 Sketch map of the migration direction of oil-gas in Jiuxi Depression (from reference 4)

如前所述,青西凹陷的烃源岩主要为下白垩统下沟组及赤金堡组藻纹层泥质白云岩和白云质泥岩。这套暗色泥岩在盆地的断陷内广泛分布,厚度大,有机质丰度较高,干酪根类型较好,具有较强的生烃能力。酒西坳陷储集层类型有第三系孔隙碎屑岩储集层、白垩系低孔渗碎屑岩储集层与碳酸盐岩储集层、前白垩系裂隙型储集层。储层物性普遍较差,孔隙度和渗透率均很低,但裂隙极为发育,具备裂隙储集条件<sup>[5]</sup>。裂隙的形成主要与断裂相关联,研究区有 3 期 5 组断层,其中高角度的窟窿山断层、柳沟庄断层及其伴生的次级断层直接控制了斜交缝的形成和分布,逆冲断层及其它压扭性断层则是造成地层沿层理滑脱而形成顺层裂缝的控制因素<sup>[6]</sup>。

## 2 青西生油凹陷中柳沟庄和窟窿山油藏的发现

上世纪 80 年代,随着地震勘探技术的进步和地

质综合研究的不断深入,在青西生油凹陷钻探了西参 1 井,在下白垩统下沟组的泥质白云岩中获得自喷油流,随后在西参 1 井以西钻探了柳 1 井,在与西参 1 井的相同层位中再获自喷油流,初产  $7 \text{ m}^3/\text{日}$ ,经酸化后产  $80 \text{ m}^3/\text{日}$ ,从而发现了柳沟庄下白垩统“源岩裂缝油藏”。前已叙及,酒西坳陷属类前陆盆地,受祁连山北缘逆冲作用,青西凹陷南部形成了一个大型的窟窿山逆掩推覆带,该推覆带是由一组彼此近乎平行的上陡下缓的逆冲或逆掩断裂组成的叠瓦状逆掩断裂带(图 4)。据陈建军等(2002)研究:该逆掩推覆带在发育过程中,逆掩推覆活动具有多期性,最明显的是侏罗纪晚期的褶皱逆冲、白垩纪末期的逆冲抬升和第三纪末的逆冲滑脱和褶皱作用。其中第三纪末是逆掩推覆带的主要发育期和定型期,这一时期构造得到加强、改造并定型,形成山前逆冲构造,使整个构造的南翼被逆掩在祁连山古生界基岩之下。根据二维地震资料推算,窟窿山构造掩覆距离以下白垩统

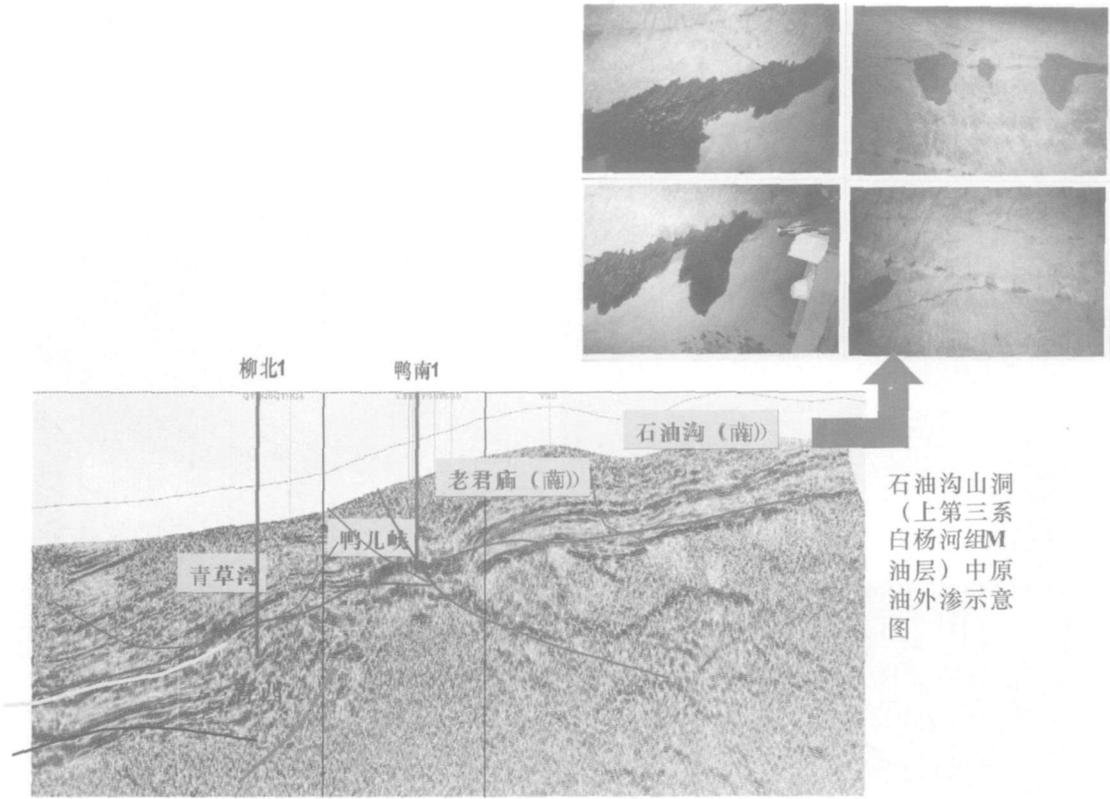


图 3 酒西坳陷石油沟油田油气运移示意图

Fig 3 Sketch map of oil-gas migration of the Shiyougou oil field in Juxi Depression

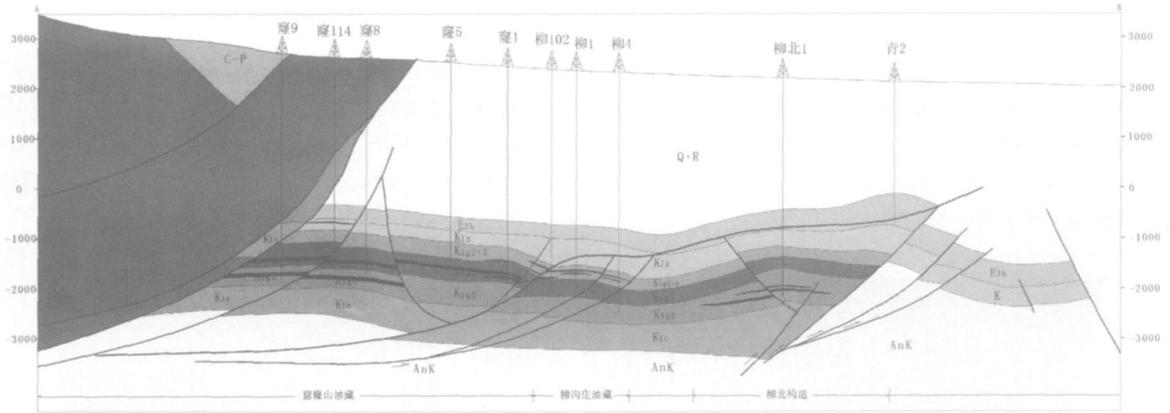


图 4 窟窿山构造油藏剖面图

Fig 4 Cross section drawing of oil reservoir in the Kulongshan structure

下沟组顶计算, 掩覆距离 4~7 km。

### 3 青西凹陷窟窿山和柳沟庄油藏的形成条件与分布

#### 3.1 青西凹陷柳沟庄及窟窿山油藏的油气控制因素及分布规律

##### 3.1.1 油气控制因素

研究表明: 窟窿山和柳沟庄油藏油气富集主控因素为构造、岩性和裂缝。构造对油气的富集主要表现在由逆冲褶皱变形所形成的背斜及断背斜是油气主要的聚集区, 如窟窿山构造; 裂缝的发育程度控制油藏的渗流能力和单井产能, 各类裂缝是油气的主要储

集空间(图 5 6)。例如窿 8 井是窟窿山构造南翼的一口探井,在 4056.9~4148.3 m 井段,岩性为半深湖相泥质白云岩,属好源岩层段。由于白云岩中含有一定数量的斜长石<sup>[7]</sup>,因而岩性脆,容易产生裂缝,特别是斜交裂缝发育,含油显示好,该层段试油,

7.94 mm 油嘴,日产油 91.75 m<sup>3</sup>,产气 11101 m<sup>3</sup>,油层中部压力 54.91 MPa 压力系数 1.36 说明地层能量充足。该层经酸化后,5.5 mm 油嘴日产油 201 m<sup>3</sup>,日产气 32000 m<sup>3</sup>,目前日稳产原油在 100 m<sup>3</sup>以上。

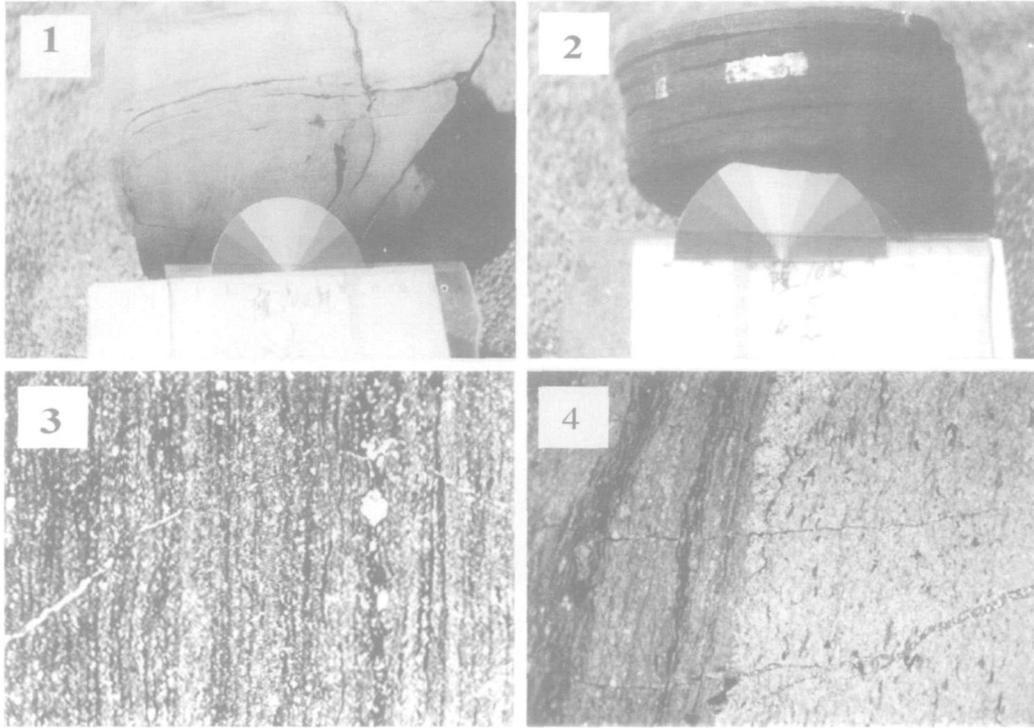


图 5 青西凹陷窟窿山构造下沟组源岩中裂缝发育特征

Fig 5 Distribution characteristics of fracture in the Xiagou Formation source rocks of the Kulongshan structure in the Qingxi Sag

1. 窿 102 井: 4037.94~4038.07m, 灰色油迹白云质粉砂岩, 裂缝发育, 并相互连通, 缝内充填原油, 大角砾中发育垂直缝沿角砾中的纹层与井筒方向平行, 其实密集垂直缝是层间缝; 2. 窿 102 井: 4644.32~4644.43m, 深灰色荧光白云质泥岩, 层间缝较发育; 3. 窿 3 井, 4560.5m,  $K_{1g1}$ ,  $\times 50$  单, 纹层状泥质白云岩中见张开微缝(见溶蚀扩大), 大角度切过纹层(含油井段); 4. 窿 3 井, 4562.6m,  $K_{1g12}$   $\times 50$  双 +  $\lambda$  高角度缝延伸不远的分叉张开微缝(见溶蚀扩大)(含油井段)。

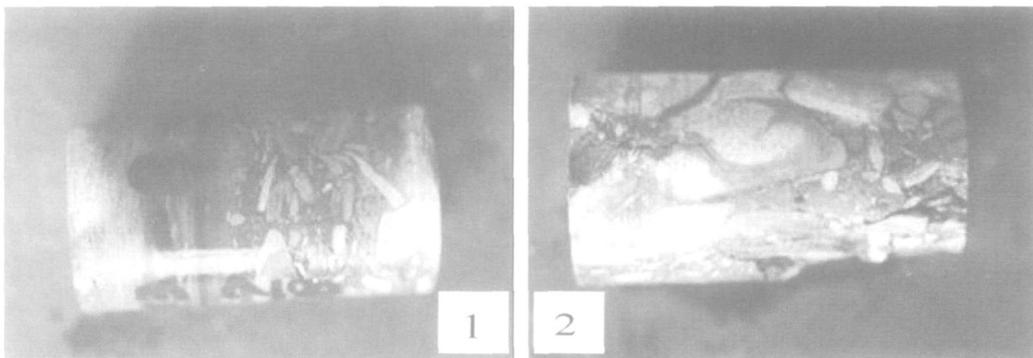


图 6 青西凹陷窟窿山构造下沟组砂砾岩中裂缝及溶洞的发育特征

Fig 6 Distribution feature of fracture and cavem in conglomerate sandstone of the Xiagou Formation of the Kulongshan structure in the Qingxi Sag

1. 窿 3 井-8 4709.48~4710.37m, 垂直层面样, 单轴抗压强度, 含砾白云质泥岩, 斜交缝。

2. 窿 3 井-9 4927.41m, 平行层面样, 单轴抗压强度, 细砾岩, 层间缝。

### 3.1.2 油气分布规律

勘探开发资料表明: 窟窿山、柳沟庄油藏的纵向分布以下白垩统下沟组 ( $K_{1g}$ ) 为主要产层, 埋深 4100 ~ 4700 m。柳沟庄油藏以油层为主, 窟窿山油藏既有油层, 还有油气层和气层。如隆 101 井下白垩统下沟组 4203 m 以下出现 5 个厚约 6 m 的油层, 4053 ~ 4114 m 为油气层, 4030 ~ 4042 m 为气层。窟窿山和柳沟庄油藏均有油水界面, 前者为 - 2200 m 左右, 后者为 - 2000 m。

窟窿山和柳沟庄油藏具有不同的压力系统, 油层压力系数为 1.32 ~ 1.39, 井口油压约 25 MPa, 两个油藏的控制因素均为构造、裂缝和岩性。

### 3.2 青西凹陷窟窿山和柳沟庄油藏特性归属

根据青西凹陷窟窿山和柳沟庄油藏的形成及其分布规律看来, 可能存在“源岩裂缝油藏”。所谓“源岩裂缝油藏”, 系指油气形成和储集于源岩层中, 源岩的各类构造裂缝、微裂隙和晶间孔是油气主要储集空间和运移通道, 油气的富集受区域及局部构造圈闭和裂缝发育程度的控制, 油藏具有油水界面, 油气驱动类型属溶解气驱、弹性驱和底水驱动的复合驱动类型, 其最大特点是源岩将生、储、盖容为一体。近油源和裂缝网络储油气的特点使其产能比致密砂岩裂缝油藏大并且稳产时间长, 但由于其形成条件的特殊性, 故确定其为非常规油气藏。

## 4 生油凹陷中可以找到规模巨大的油气田

从有机生成油气的观点出发, 石油总是由相对水动力较弱的沉积凹陷内分散于细粒沉积岩中的沉积有机物质在一定的埋藏深度和温、压条件及成岩作用下形成干酪根, 其所赋存的岩石即为可能源岩, 其中的干酪根在成岩作用的中后期经热降解成烃<sup>[8]</sup>。随着源岩中生烃浓度的不断增大使其压力不断增加, 从而导致源岩产生微裂缝而排烃 (生烃增压和微裂缝排烃), 这是油气的初次运移。烃类离开源岩后进入输导层 (一般为多孔砂岩储层), 在浮力及毛细管压力作用下进入储集圈闭 (或构造) 而聚集成藏。一般情况下, 石油勘探家总是在生油凹陷的附近查明具有各类圈闭条件的构造和储集层并进行油气勘探。由于源岩层在沉积过程中总是处于水动力条件相对较弱和深水或半深水的还原环境沉积中, 因而一般以细粒沉积为主, 砂层并不发育。因此, 勘探家仅将其作为源岩层或封盖层看待, 从不将其作为勘探目的层。

现今, 在青西生油凹陷中发现了窟窿山和柳沟庄油藏 (青西油田) 的事实提示我们, 油气勘探不仅要选择源岩层附近具备储盖组合的各类构造圈闭, 还应注意在源岩层具备一定的储集空间和运移通道 (各类裂缝和裂隙) 的条件下, 其本身亦可能对油气进行储藏和聚集。这种储聚在源岩中各类储集空间的烃类, 在特定的地质条件下也能聚集成具有商业价值的油气藏。青西凹陷柳沟庄油藏和窟窿山油藏<sup>[6]</sup>、四川盆地川中隆起白垩系大安寨介壳灰岩裂缝油藏<sup>[9]</sup>、江汉盆地潜江凹陷裂缝油藏<sup>[10]</sup>、北美页岩裂缝气系统 (Fractured shale-gas systems)<sup>[11]</sup> 及加拿大西部沉积盆地某些页岩层的产气潜力<sup>[12]</sup> 就是“源岩裂缝油气藏”的实例。这一认识不仅扩大了油气勘探领域, 而且提出了一些值得进一步研究的石油地质理论问题。即油气的聚集并非一定要储集于多孔的砂岩体中, 在砂岩并不发育的生烃凹陷, 只要源岩已具备生烃条件, 且其又具有一定的储集空间 (如各类裂缝及微裂隙等), 在具有各种圈闭的条件下, 源岩中亦可聚集和形成商业性油气藏——“源岩裂缝油气藏”。

## 5 结论

(1) 生油凹陷中“源岩裂缝油气藏”的形成条件是:

- 1) 源岩必须具有较高的有机质丰度, 有机碳平均含量 > 1.0%;
- 2) 源岩性脆易碎;
- 3) 必须具备导致源岩圈闭形成的区域性和局部性构造变动 (逆掩推覆或断裂);
- 4) 源岩大量生烃前应具备一定的油气储集空间 (各类裂缝)。

(2) 在一个含油气盆地或地区, 油气勘探程度达到一定阶段后, 在注重岩性油气藏勘探的同时, 应重视“源岩裂缝油气藏”的勘探与研究, 重点研究以下问题:

- 1) 源岩中是否存在“源岩裂缝油气藏”?
- 2) 源岩生烃时期与其储集空间形成时期的匹配关系;
- 3) 源岩储集空间类型与岩性特征研究。

(3) “源岩裂缝油气藏”的研究必须将生烃、测井和地球物理“三位一体”相结合, 首先应选择适合条件的勘探程度较高的盆地或地区进行研究。

“源岩裂缝油气藏”的研究将进一步拓宽油气勘

探领域,它既丰富了石油地质理论,又具有重大经济价值,是一项值得进一步深入研究的前沿性课题。

### 参考文献 (References)

- 霍永录,谭试典著. 酒泉盆地陆相石油地质特征及勘探实践. 北京:石油工业出版社,1995[Huo Yonglu Tan Shidian. Exploration Case History and Petroleum Geology in Jiuquan Continental Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995]
- 熊英,程克明,杨志明,等. 酒西坳陷油源对比研究新进展. 石油勘探与开发, 2004, 31(1): 36-39[Xiong Ying Cheng Keming Yang Zhiming et al. Advances in the correlation of oils and source in the Jixi Depression, Northwest China. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(1): 36-39]
- 陈建军,程克明,熊英,马立元. 酒西坳陷下白垩统藻纹层灰岩生烃特征. 石油勘探与开发, 2005, 32(6): 61-65[Chen Jianjun Cheng Keming Xiong Ying Ma Liyuan. Hydrocarbon generation characteristics of the Lower Cretaceous dolomite in the Jixi Depression. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(6): 61-65]
- 熊英. 酒西盆地油气生成与运移. 中国石油天然气集团公司石油勘探开发科学研究院博士论文, 2000, 21-99[Xiong Ying. Petroleum and natural gas generation and migration in Jixi Basin. Thesis for the Doctorate of the Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, 2000, 21-99]
- 赵应成. 酒西盆地含油气系统与油气勘探方向. 石油实验地质, 1998, 20(4): 362-367[Zhao Yingcheng. Petroleum system and petroleum exploration targets of the Jixi basin. Experimental Petroleum Geology, 1998, 20(4): 362-367]
- 闫伟鹏,朱筱敏,张琴,等. 柳沟庄—窟窿山油藏储集层裂缝类型及特征. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 80-83[Yan Weipeng Zhu Xiaomin Zhang Qin et al. The fissure type and characteristics of Liugouzhuang-Kulongshan reservoir in Qingxi depression. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(1): 80-83]
- 罗平,杨式升,马龙,苏丽萍. 酒西盆地青西坳陷湖相纹层状泥质白云岩中泥级斜长石成因、特征与油气勘探意义. 石油勘探与开发, 2001, 28(6): 32-33[Luo Ping Yang Shisheng Ma Long Su Liping. Origin feature and its significance to the petroleum exploration of the clay size plagioclase in lacustrine laminated argillaceous dolomite, Qingxi depression in Jixi basin. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(6): 32-33]
- Tissot B P and Welte D H. Petroleum Formation and Occurrence: A new approach to oil and gas exploration. Springer-Verlag, Berlin
- 李国玉,吕鸣岗,等. 中国含油气盆地图集. 北京:石油工业出版社, 2002[Li Guoyu Lü Minggang et al. Atlas of the Oil-gas Basin in China. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002]
- 戴世昭. 中国石油地质志. 北京:石油工业出版社, 1991[Dai Shizhao. Annals of Petroleum Geology in China. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991]
- John B Curtis. Fractured shale-gas systems. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921-1938
- Basin Faraj Harold Williams Gary Addison, Brian McKinstry, et al. Gas potential of selected shale formations in the western Canadian sedimentary basin. GTE & P Services Canada Bulletin, 2004, 10(1): 21-25

## The Kubngshan and Liugouzhuang Oil Reservoirs: A kind of the source rock fractured reservoir of the Qingxi Sag in Jixi Depression

CHENG Ke-ming<sup>1</sup> XIONG Ying<sup>1</sup> MA Li-yuan<sup>2</sup>

(1 Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083)

(2 Research Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC, Beijing 100083)

**Abstract** The geological background of finding the Qingxi oil field in the Qingxi petroleum generation sag of Jixi Depression are analyzed, the formation and distribution regularity of the Kulongshan and Liugouzhuang oil reservoirs and its control factor are researched. On the basis of this study, the thesis raised a new viewpoint that the Kulongshan and Liugouzhuang oil reservoirs of the Qingxi oil field should be the source rock fractured reservoir. At the same time, the specially geological condition of the source rock fractured reservoir's formation and its research value are demonstrated. The specific significance of the source rock fractured reservoir is that the oil reservoir may be found in the source rock, its finding and an exhaustive research will extend the oil-gas bring area and enrich the petroleum geology theory. It is a new research task which has great scientific significance and practical value.

**Key words** petroleum generation sag; source rock fractured oil reservoir; condition of oil reservoir formation; the Qingxi Sag; Jixi Depression