

文章编号: 0253-2697(2012)06-0915-10

柴达木盆地昆北断阶带上盘原油成因与成藏特征

陈世加^{1,2} 路俊刚^{1,2} 马达德³ 汪立群³ 赵明君³ 薛建勤³ 张纪智¹ 刘超威¹ 张 静¹

(1. 西南石油大学资源与环境学院 四川成都 610500; 2. 天然气地质四川省重点实验室 四川成都 610500;
3. 中国石油青海油田公司勘探开发研究院 甘肃敦煌 736202)

摘要: 昆北断阶带上盘渐新统下部(E_3^1)、古新统-始新统(E_{1+2})和基岩勘探均获得重大突破,发现亿吨级整装油田。该区沥青与原油并存,分布复杂,不同井区原油富集程度不同,中间切 4 井区勘探效果较差。通过原油、沥青与源岩生物标志化合物对比,明确指出昆北原油和沥青成因不同,原油为扎哈泉凹陷渐新统上部(E_3^2)源岩成熟阶段产物,沥青来自渐新统下部(E_3^1)源岩,属于低演化阶段并遭破坏稠化的产物。通过原油性质、储层显微荧光、储层包裹体分析,结合源岩和构造演化特征,确定昆北地区存在 2 期成藏,成藏时间分别在中新世(N_1)早期和上新世(N_2)晚期以后,目前储层中的油主要是第 2 期原油。第 1 期油主要沿基岩和上覆沉积岩层之间不整合面向侧向运移成藏,因切 6 和切 12 井区古构造位置较高,成藏规模较大,受破坏形成的沥青规模也较大;第 2 期油先沿昆北断裂运移到上盘,然后沿不整合面向侧向运移,后再沿主要次级断裂运移到目前圈闭中成藏,主要次级断裂对油的运移成藏起重要控制作用。远离切 16 井东断层, E_{1+2} 储层与切 163 井区不连通是导致目前切 4 井区勘探效果较差的主要原因。

关键词: 柴达木盆地;昆北断阶带;原油成因;生物标志化合物;成藏期次

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A

Origin and accumulation characteristics of the oil from hanging walls of Kunbei fault-terrace belt in Qaidam Basin

CHEN Shijia^{1,2} LU Jungang^{1,2} MA Dade³ WANG Liqun³ ZHAO Mingjun³
XUE Jianqin³ ZHANG Jizhi¹ LIU Chaowei¹ ZHANG Jing¹

(1. Resource & Environmental Engineering College, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;
2. Sichuan Key Laboratory of Natural Gas Geology, Chengdu 610500, China; 3. Research Institute of Exploration & Development, PetroChina Qinghai Oilfield Company, Dunhuang 736202, China)

Abstract: A great exploration breakthrough has been made in the bedrock, the lower part of Oligocene(E_3^1) and the Paleocene and Eocene(E_{1+2}) hanging walls of Kunbei fault-terrace belt, where an integrated oilfield with over billion tons of oils has been discovered. With the coexistence and complex distribution of bitumen and crude oils, degrees of crude oil enrichment in this area are different in different well fields, and the exploration effect of the Well Qie-4 area in the middle was relatively poor. The biomarker correlation of source rocks, crude oils and bitumen shows that oils and bitumen in Kunbei have different origins. The crude oil was derived from the upper part of Oligocene(E_3^2) mature-stage source rock in Zhahaquan sag, while the bitumen originated from the E_3^1 source rock and it has been destroyed and densified during the low evolutionary stage. Based on analyses of crude oil properties, microscopic fluorescence of reservoirs and reservoir inclusions, and combined with evolutionary features of source rocks and their structures, we confirmed that there are two stages of reservoir-forming in Kunbei area, which are the early Miocene(N_1) and the reservoir-forming stage after the late Pliocene(N_2), respectively. The current oil in the reservoirs mainly came from the second stage. The oil from the first stage mainly migrated laterally along unconformities between bed rocks and overlying sedimentary layers to form reservoirs. Because the paleo-tectonic location of the Qie-6 and Qie-12 well fields was higher than the Qie-4 well field, the scope of reservoir formation in the former was larger while compared with the latter, and its dimension of bitumen formed by later destruction was also huger. The oil from the second stage migrated firstly along the Kunbei faults to hanging walls, then laterally along unconformities and finally along main secondary faults to accumulate in the present traps. Consequently, the main secondary fault is a key factor to control the crude oil migration and accumulation. And the poor exploration effect of the Well Qie-4 area was primarily attributed to its location far away from the east fault of the Qie-16 well and disconnection of the E_{1+2} reservoir with the Qie-163 well field.

Key words: Qaidam Basin; Kunbei fault-terrace belt; oil genesis; biomarker; formation stage of reservoir

昆北断阶带位于柴达木盆地西部南区(以下简称柴西南区)昆仑山前,是昆仑山隆升向盆地挤压形成的以昆北大逆断裂为主的断阶构造^[1-2]。昆北断阶带具有持续发育的古构造背景,发育多种类型圈闭,沉积砂

基金项目: 国家重大科技专项(2011ZX05001-001)、中国石油天然气股份有限公司重大科技专项(2011E-0301)和四川省天然气地质重点实验室资助。
第一作者及通讯作者: 陈世加,男,1964年12月生,1988年获西南石油大学学士学位,1998年获北京石油勘探开发科学研究院博士学位,现为西南石油大学教授、博士生导师,主要从事油气地质和地球化学研究及教学工作。Email: chensj1964@swpu.edu.cn

体普遍发育,区域储盖组合配置良好,是柴西南区油气勘探有利区带^[3-7]。昆北断陷带勘探工作始于1955年,2007年切6井渐新统下部(E_3^1)地层获高产工业油流,随后切12、切4和切16井区也取得突破,发现了昆北亿吨级油田。这是青海油田近30年来,在中浅层发现的储量丰度最高、勘探效益最好的整装油田,也是继尕斯油田之后的又一个亿吨级油田,它将为青海油田建成千万吨级高原油气田奠定坚实的资源基础。

昆北断阶带油气勘探取得巨大突破之后,许多专家都对其进行了研究,并取得了一定成果^[1-3,8-11],但对本区油气成藏规律及一些关键问题的认识还不是很清楚。具体表现在:①认为源区是扎哈泉凹陷,但来自哪一套源岩不清楚;②在切12和切6井区基岩岩心见大量固体沥青,沥青成因如何?是否大规模成熟油藏遭破坏?③目前认为,昆北断裂是扎哈泉凹陷原油纵向

运移的主要通道,但是当原油运移到断阶带上盘后通过什么方式进入各类圈闭中成藏?为何不同井区勘探效果不同?④昆北地区存在几期成藏?何时成藏?与构造演化有何关系?油气运移成藏模式及主控因素如何?⑤原油分布受多种因素控制,过渡带(断陷带上盘油藏与昆北断裂之间过渡地区,以下简称过渡带)勘探效果较差。这些问题制约了昆北断阶带的整体评价和下步勘探部署。因此剖析昆北地区油气运移成藏过程,分析断裂展布与成藏期次之间的匹配关系,建立昆北地区油气成藏模式,查明油气分布规律,可指导昆北断阶带下步油气勘探及部署。

1 地质概况

昆北断阶带位于柴西南区,祁漫塔格山北缘,北边以昆北断裂为界与乌南、绿草滩、跃进地区相接,南邻昆南断裂(图1)。

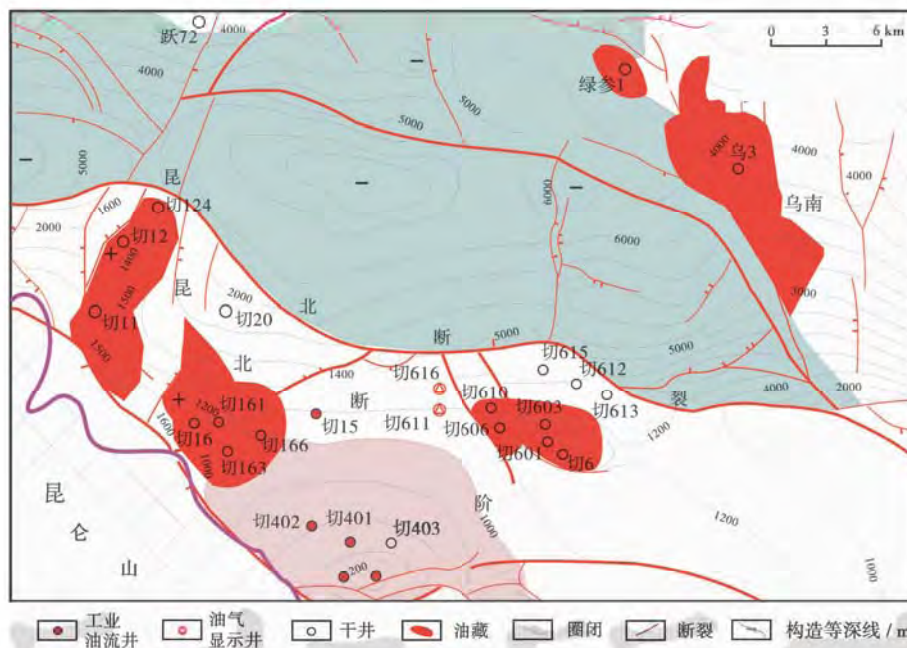


图1 研究区位置

Fig. 1 Location of Kunbei faults zone, Qaidam Basin

昆北断裂古近纪早期开始发育,为近东西向、北倾断裂,断面较陡,断开层位多(从基岩到盖层所有层位),最大断距超过3000m。由于长期发育并由南向北强烈逆冲^[11-15],控制了二级构造带及局部圈闭的形成^[1-3],断裂下盘形成扎哈泉深凹陷,上盘由西往东依次发育切12号断背斜、切16号断块、切4号背斜及切6号断背斜^[7]。此外,由于昆北断裂的压扭性质,形成大量次级断裂,呈近SN向展布,与昆北断裂斜交,主要包括切16井东断层、切616井东断层和切610井东断层等。

昆北地区受多期构造运动作用,断阶带上盘地层遭受剥蚀,自东向西发育古新统-始新统(E_{1-2})与基岩之间的区域不整合,因早期基岩地貌西高东低,导致切12井区缺失 E_{1-2} 地层, E_3^1 地层与基岩直接接触。

扎哈泉凹陷具有较强的生烃能力^[16-17],主要生烃层位为渐新统上部(E_3^2)和渐新统下部(E_3^1),有机质丰度较高,有机碳含量均值分别为1.1%和0.88%,目前已到成熟阶段。其中, E_3^2 暗色泥岩厚度大,分布范围广,生烃能力最强; E_3^1 暗色泥岩主要分布于顶部。

厚度较小,生烃能力有限。

2 原油和沥青分布特征

昆北断阶带上盘原油分布复杂,沥青与原油并存,不同井区原油和沥青富集程度不同(表1)。

切6井是昆北油田发现井,在 E_3^1 获高产工业油流,此外切6井区 E_{1+2} 和基岩勘探也获得突破,工业油流井多,单井产量高。切12井区缺失 E_{1+2} 地层,出油层位主要为 E_3^1 ,基岩见较好油气显示,取心为油斑变质岩。切163井区和切16井区位于切16井东断层上、下盘,基岩和 E_{1+2} 地层均获得高产工业油流。根据地震解释,切4井区构造位置较高(高于其他井区),但勘探效果较差,在基岩获工业油流,产量较低,出油井位较少, E_{1+2} 地层见良好油气显示,测试未出油。

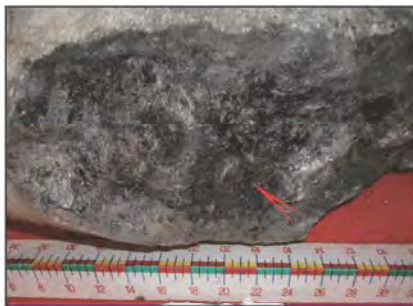
除工业油流外,昆北地区沥青分布广泛。切6井区和切12井区沥青规模较大,其中在切6井区过渡带(切6井区油藏和昆北断裂之间)和切12井区油藏北端(切124井)基岩岩心中见大量黑色固体沥青(岩心

破裂面被沥青充填)[图2(a-b)],中间切16井区和切4井区沥青规模较小,岩心中未发现固体沥青,但在基岩和 E_{1+2} 中下部储层镜下见到发褐色荧光的沥青存在[图2(c)]。

表1 昆北断阶带不同井区部分井试油及原油物性特征

Table 1 The statistical oil properties and oil testing of some wells in Kunbei faults zone

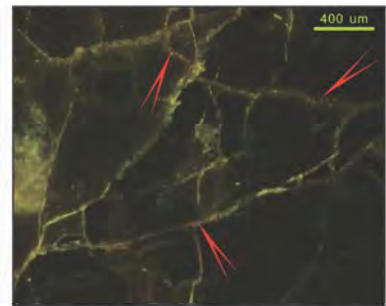
井区	井号	层位	试油井段/m	日产油/ ($m^3 \cdot d^{-1}$)	原油性质	
					密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	50℃黏度/ ($mPa \cdot s$)
切6	切6	E_3^1	1743~1749	26.44	0.859	20.36
	切601	E_{1+2}	1944~1950	7.66	0.849	26.79
	切603	基岩	2100~2110	1.78	0.849	11.19
切12	切11	E_3^1	1920~1932	25.37	0.868	20.90
	切12	E_3^1	1817~1825	33.46	0.860	12.74
切4	切402	基岩	1653~1659	1.82		
	切404	基岩	1278~1284	4.51		
切16	切161	E_{1+2}	2142~2144	8.17		
	切163	基岩	1892~1896	5.00	0.861	18.14
		E_{1+2}	1842~1850	38.40		



(a) 切124井1948.6~1948.86m, 基岩变质岩, 岩心断面见黑色固体沥青



(b) 切612井2320.1~2320.41m, 基岩花岗岩, 岩心断面见黑色固体沥青



(c) 切401井1458.35m, 基岩储层荧光薄片, 镜下裂缝见褐色荧光沥青

图2 昆北断阶带上盘岩心和储层显微荧光照片

Fig. 2 The photographs of core and reservoir fluorescent under microscope in Kunbei faults zone

3 原油和沥青成因及来源

3.1 原油物性特征

如表1所示,工区原油物性特征基本一致,原油密度中等,主要分布在 $0.84 \sim 0.87 g/cm^3$,50℃黏度主要分布在 $11.19 \sim 26.79 mPa \cdot s$ 。

3.2 原油和沥青地球化学特征及来源

3.2.1 沥青与原油地球化学特征不同

(1) 甾烷分布不同。如图3所示,昆北地区原油和沥青甾烷分布特征不同。原油甾烷分布呈近似“V”字型,沥青甾烷分布呈“反L”型,说明两者源岩有机质组成存在差异。

(2) 伽马蜡烷丰度不同。伽马蜡烷是咸水还原环境的生物标志化合物,国内学者常用伽马蜡烷丰度来

表征沉积水体的盐度^[18-19]。如图4所示,昆北断阶带沥青伽马蜡烷丰度较低,伽马蜡烷指数(γ -蜡烷/ C_{30} 藿烷)小于0.3,低于该区原油和储层抽提物(伽马蜡烷指数为 $0.35 \sim 0.6$),说明沥青与原油和储层抽提物的源岩沉积环境不同,前者来自水体盐度较低环境,后者来自中等盐度的沉积环境,该区储层沥青与原油和储层抽提物的来源不同。

(3) 成熟度不同。研究与实际剖面观察表明,三环萜烷的丰度受成熟度的影响。源岩低成熟或成熟阶段初期,三环萜烷丰度较低,到成熟阶段后三环萜烷的丰度增高^[20]。

昆北断阶带含沥青储层抽提物三环萜烷丰度较低,而不含沥青储层抽提物和原油三环萜烷丰度较高(图4),说明两者成熟度存在差异,沥青成熟度较低,

而不含沥青储层抽提物和原油成熟度较高。

如图5所示,原油与沥青甾烷成熟度也不同,原油成熟度高于沥青。原油甾烷成熟度参数 $C_{29}20S/(20S +$

$20R)$ 比值主要分布在 $0.43 \sim 0.49$, C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 比值主要分布在 $0.42 \sim 0.6$, 属于源岩成熟阶段产物; 而沥青甾烷成熟度明显较低, 属于较低演化阶段产物。

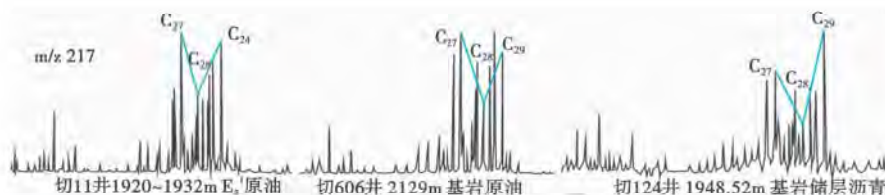


图3 昆北地区原油和沥青甾烷分布特征对比

Fig. 3 The sterane characteristic contrast between oil and bitumen in Kunbei area

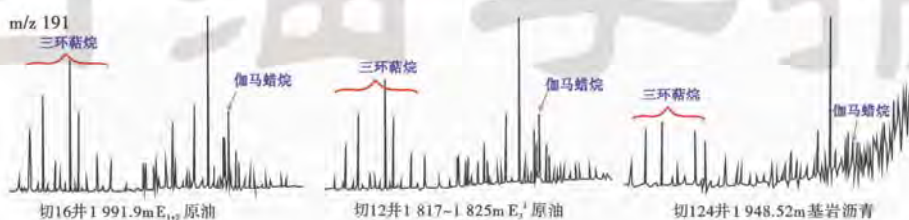


图4 昆北地区原油和沥青萜烷分布特征对比

Fig. 4 The terpane characteristic contrast between oil and bitumen in Kunbei area

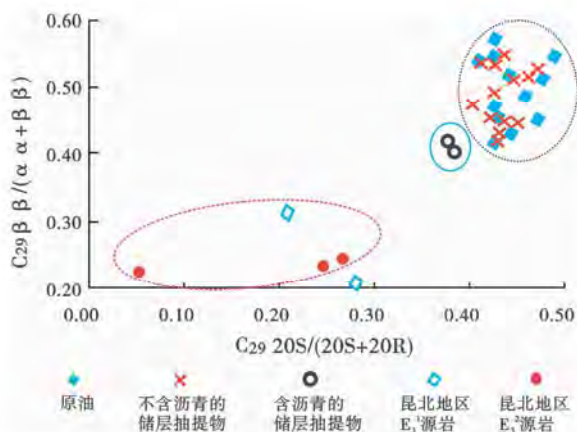


图5 昆北地区不同井区原油与储层沥青、源岩抽提物甾烷成熟度对比

Fig. 5 The sterane maturity comparison between oil, bitumen and source rocks in kunbei area

3.2.2 沥青与原油来源不同

(1) 扎哈泉凹陷是源区。昆北断裂是昆北断阶带形成与发育的边界断裂, 形成时间较早, 在古近纪早期开始发育, 受喜马拉雅运动的影响, 构造持续抬升, 在 E_3^2 和 E_3^1 地层沉积期。昆北地区水体较浅, 主要发育三角洲前缘相^[21], 有机质丰度较低, 不具备大规模生烃的能力。

此外, 从源岩演化程度来看, 昆北断阶带本身烃源岩目前尚处于低—未成熟阶段, 成熟度低于昆北地区原油和沥青(图5), 说明昆北地区原油和沥青不是昆

北地区本身烃源岩来源, 应主要来自埋藏深度更大、成熟度更高的扎哈泉凹陷。

(2) 原油与沥青来自不同层位源岩。如图6所示, 扎哈泉凹陷不同层位烃源岩生物标志化合物特征不同, E_3^2 源岩抽提物甾烷分布呈近似“V”字型, 三环萜烷和伽马蜡烷丰度均较高, 与昆北断阶带原油特征基本一致; E_3^1 烃源岩抽提物甾烷分布呈近似“反L”型, 伽马蜡烷丰度较 E_3^2 源岩略低, 与昆北储层沥青特征对比性较好。综合分析认为昆北地区原油为扎哈泉凹陷 E_3^2 源岩生烃高峰期产物, 而储层沥青是扎哈泉凹陷 E_3^1 源岩低演化阶段且遭破坏形成的产物。因此, 虽然沥青是受破坏形成的产物, 但源岩生烃高峰期产物没有受到破坏, 对昆北地区资源勘探前景没有重大影响。

4 成藏分析

4.1 两期成藏

4.1.1 原油与沥青成因及来源不同

昆北储层岩心中见大量黑色固体沥青(图2), 沥青与原油本身相态的差异说明两者不是同时成藏的产物。此外, 原油与沥青的生物标志化合物特征及其来源也不同, 说明两者是不同期的产物。

4.1.2 镜下见2期荧光

储层中的不同有机质在荧光显微镜下具有不同的发光特征。明显具有不同荧光特征的储层油气应属于不同演化阶段的产物^[22-24]。如图2所示, 昆北断阶带

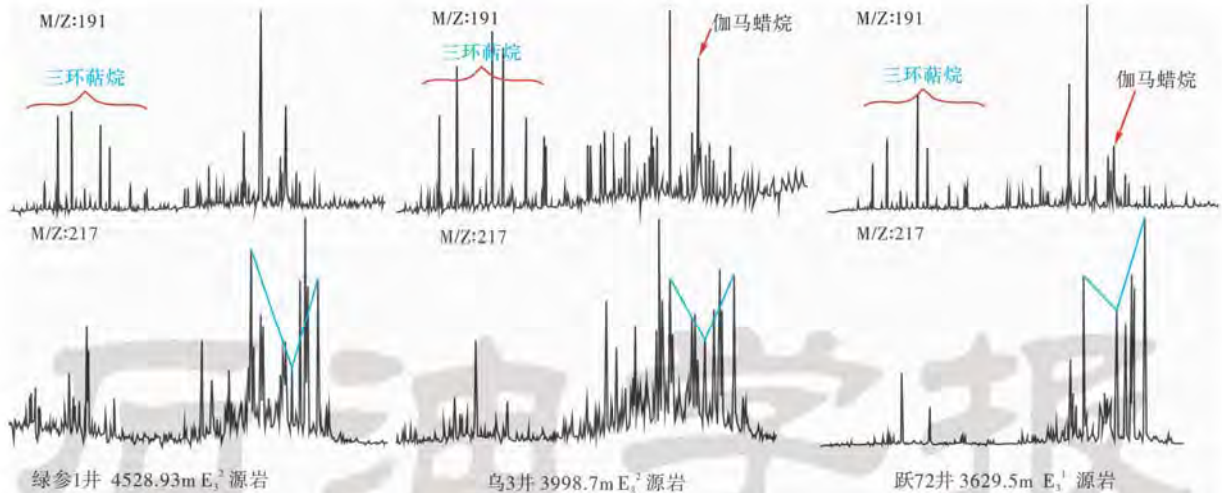


图 6 扎哈泉凹陷源岩抽提物甾烷和萜烷分布特征对比

Fig. 6 The terpane and sterane characteristics of source rock extract in Zahaquan sag

储层镜下见 2 种不同颜色的荧光,一种为褐色,鉴定为沥青;另一种是发绿色(或黄色),为后期聚集的油,说明该区具 2 期成藏。

4.1.3 2 期包裹体

(1) 油气包裹体期次

由储层油气包裹体形态、颜色及其分布特征可以识别出 2 期油气包裹体。第 1 期包裹体气液比较小,分布在 8%~15%,个体一般较小(4~10 μm),主要在微裂隙或石英表面呈线状分布,显示褐黄色或浅褐色荧光;第 2 期油气包裹体气液比较大,一般大于 15%,个体较大,多为 8~25 μm,主要分布在石英次生加大边部分,显示棕色或粉红色荧光。

(2) 流体包裹体均一化温度特征

包裹体均一化温度在武汉地质矿产研究所流体包裹体实验室的英国艾迪科生产的 THMS 显微冷热台进行测试,0~-196℃的测定误差为 ±0.2℃。实验样品 5 块,选取与油气包裹体共生的盐水包裹体进行均一温度测定。

从储层盐水包裹体均一化温度来看,温度分布范围较宽,为 70.8~119.4℃,存在 2 个明显的温度峰区,分别为 80~90℃和 110~120℃(图 7),说明昆北断阶带原油运移成藏存在 2 个高峰^[25],即存在 2 期成藏。

第 1 期油来自扎哈泉凹陷 E₃¹ 源岩,属于较低演化阶段产物,后受破坏形成沥青,第 2 期油来自扎哈泉凹陷 E₃² 烃源岩,属于生烃高峰期产物,目前储层原油就属于此类。

4.2 成藏时间

根据构造演化和烃源岩生烃演化特征(图 8),扎哈泉凹陷 E₃¹ 烃源岩中新世(N₁)早期进入生烃门限,且 N₁ 早期昆北断阶带构造活动进入强挤压期,断裂

活动强烈,为该期原油运移提供了运移通道,认为第 1 期油成藏时间在 N₁ 早期。扎哈泉凹陷 E₃² 烃源岩上新世(N₂)晚期以后进入生烃高峰期,且昆北构造在上新世(N₂)中期以后才最终定型,分析认为昆北第 2 期油成藏时间在上新世晚期以后。

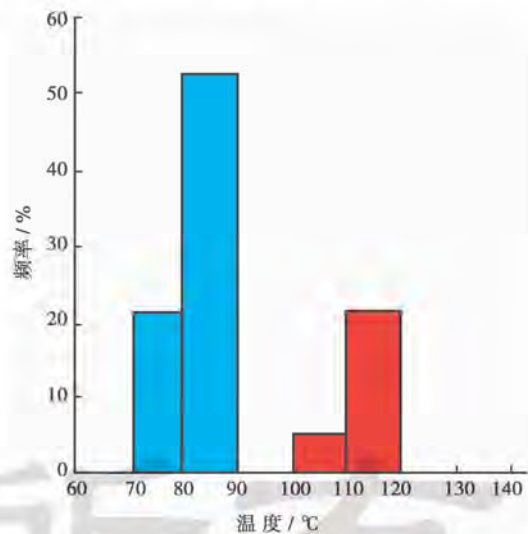


图 7 切 163 井储层(1863.27 m, E₁₊₂) 包裹体均一化温度

Fig. 7 The homogenization temperature of reservoir inclusion of Well Qie 163(1863.27 m, E₁₊₂)

4.3 运移通道

昆北大断裂形成时间早,断距大,断开层位多,为扎哈泉凹陷油气往昆北断阶带上盘运移提供了纵向运移通道,形成纵向源上含油体系^[1,3-7]。南北向展布的次级断裂可能对原油在昆北断阶带不同井区和不同层位运移并成藏起到非常重要的控制作用。此外,昆北断阶带广泛分布的不整合面和河道砂体为原油在平面上长距离侧向运移提供了重要通道。

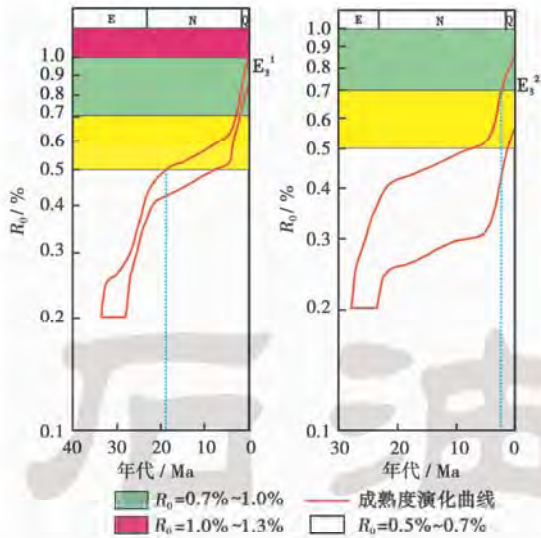


图8 绿参1井E₃¹和E₃²烃源岩演化史

Fig. 8 The evolution of source rocks E₃¹ and E₃² of Well Lücan 1

4.3.1 不整合面是第1期油主要侧向运移通道

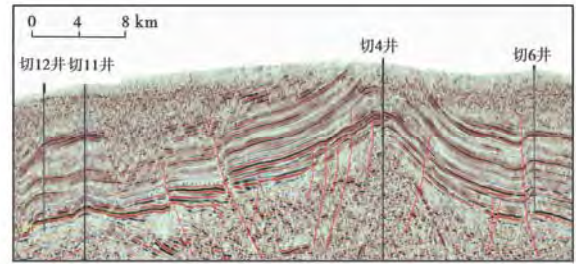
昆北断阶带沥青(第1期油)纵向分布具有较好的规律性,主要分布在不整合面附近储层中,如切12井区基岩和E₃¹下部储层,切6井区、切16井区和切4井区基岩和E_{1,2}中下部储层。而远离不整合面的储层未见沥青,如切12井区E₃¹中上部储层以及切6井区、切4井区和切16井区E_{1,2}上部及E₃¹储层。沥青分布范围广,从切6井区到切12井区均发现沥青,其分布不受次级断裂控制,如切6井区过渡带切612井和切615井(远离切610井东断层)基岩岩心见大量黑色固体沥青。综上所述,第1期油主要侧向运移通道为不整合面。

从沥青平面分布规模来看,切6井区和切12井区沥青最多,中间切4井区和切16井区沥青相对较少。分析认为,这种分布差异主要受古构造位置高低的影响。N₁早期(第1期油成藏期),切12井区和切6井区构造位置相对较高(图9),是第1期油主要运移指向区,成藏规模相对较大,后因保存条件变差,轻组分大量散失,形成沥青。切4井区和切16井区古构造位置相对较低(图9),第1期油成藏规模较小,且部分溶解在第2期油中,导致切4井区和切16井区岩心中未见黑色固体沥青(镜下见褐色荧光沥青)。

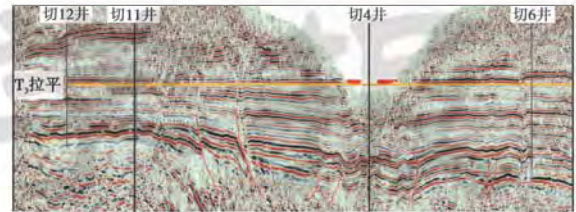
4.3.2 主要次级断裂控制第2期油运移

(1) 过渡带未见气测异常显示

气测录井过程中,当时实时全烃数据上升到基值的3倍以上时,称为全烃异常。全烃异常出现说明钻井液中所含烷烃总量上升,也说明该井段可能有油气聚集,在这个意义上,也说明该井段曾发生过油气的运移^[26]。



(a) 现今剖面



(b) T₃拉平剖面(中新世早期)

图9 切12井构造至切6井构造演化剖面

Fig. 9 The evolution of structure profile from Well Qie 12 to Qie 6

切612井、切614井、切15井和切20井处于油藏与昆北断裂之间的过渡带,根据录井结果,这些过渡带并未见油气异常显示,说明该地区没有发生过油气的聚集或者运移。

(2) 过渡带储层镜下未见油

如图10所示,切612井、切613井、切15井和切20井E_{1,2}储层荧光较暗,没有发现原油发光特征,说明这些井储层没有发生原油的运移,且这些井都处于油藏与昆北断裂之间的过渡带,远离主要次级断裂,也说明原油没有沿过渡带储层顺层运移(图11)。

(3) 主要次级断裂附近储层镜下见大量油

切615井、切611井、切161井、切16井、切616井等镜下荧光特征与过渡带井不同,在其E_{1,2}储层镜下见大量发黄色或绿色荧光(图12),说明第2期油曾经发生过运移。且从断裂与井位分布特征来看,这些井均靠近主要次级断裂,预示着第2期油的运移与该井区分布的次级断裂有关。

(4) 过渡带储层物性较差

昆北断阶带上盘油藏与昆北断裂之间过渡带储层物性较差,孔隙度主体小于10%,渗透率主体小于1mD,属于特低孔超低渗储层,原油难以发生顺层运移。而且,过渡带基岩和E_{1,2}储层中存在大量沥青,这些沥青的存在会堵塞孔隙和裂缝,严重降低储层的孔渗性能,导致后期来源的油运移难度增大^[27,28],这在一定程度上阻碍了第2期油的运移,这也是导致第2期油没有顺层运移的重要原因。

4.3.3 切4井区勘探效果较差的原因

昆北地区原油运移成藏受主要次级断裂控制作用

明显,对切 4 和切 16 井区而言,切 16 井东断层是原油主要运移通道。原油首先通过切 16 井东断层运移到断层下盘(切 16 井区)和上盘(切 163 井区)成藏,然后切 163 井区原油再顺层运移到构造高部位切 4 井区成藏,切 4 井区离切 16 井东断层较远,使其成藏规模较小。

切 163 井区 E_{1+2} 储层原油成熟度高于切 4 井区 E_{1+2} 储层抽提物(表 2),说明切 163 井区 E_{1+2} 储层原油没有运移到切 4 井区;而切 163 井区基岩原油和切 4 井区原油特征及成熟度一致(表 2)。说明切 4 井区基岩油藏是切 163 井区基岩原油顺层运移成藏的结果,切 163 井区和切 4 井区 E_{1+2} 储层不连通。

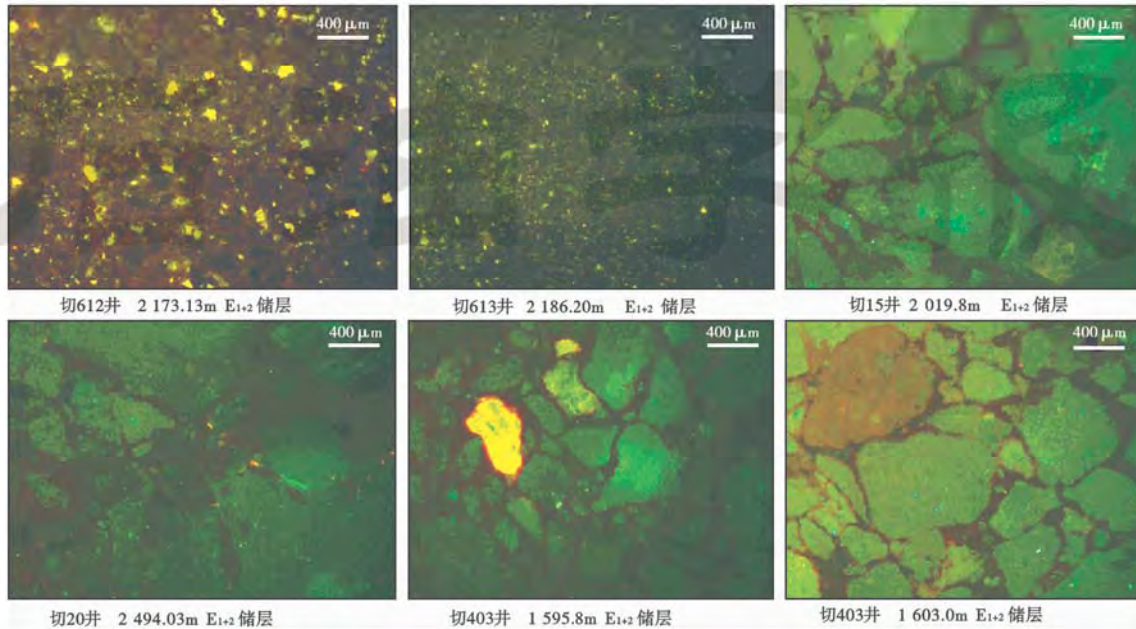


图 10 昆北断阶带上盘油藏与昆北断裂之间过渡带储层荧光特征

Fig. 10 Reservoir fluorescent photographs of the transition belt reservoir between the oil reservoir and Kunbei fault

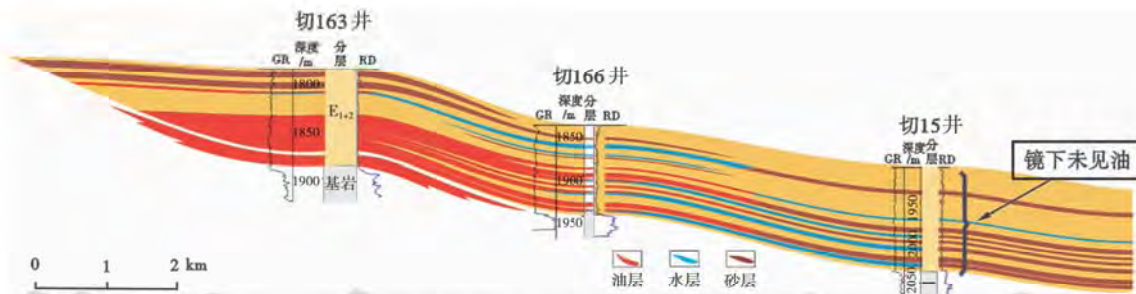


图 11 切 163 井—切 166 井—切 15 井油藏剖面

Fig. 11 The profile of oil reservoir from well Qie 163, Qie 166 to Qie 15

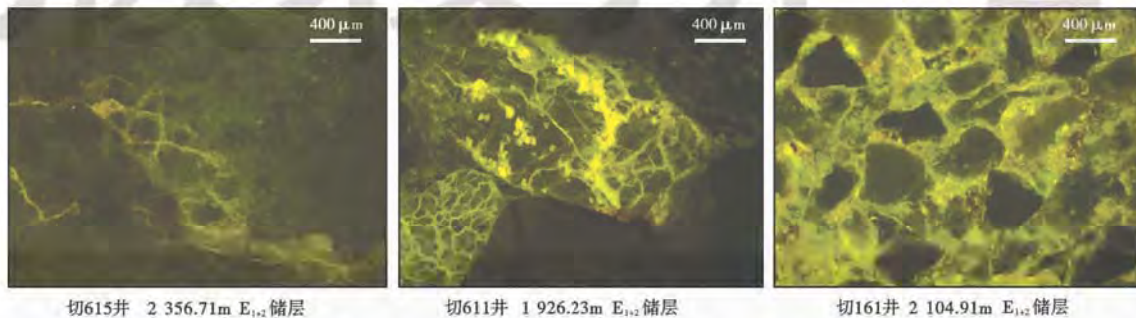


图 12 昆北断阶带上盘靠近断裂储层荧光特征

Fig. 12 The feature of fluorescence of the reservoir which close to faults in hanging wall of Kunbei faults zone

表2 切163井区和切401井区原油甾烷成熟度参数对比

Table 2 The comparison of sterane maturity parameter of crude oil in Well Qie163 and Qie401

井号	深度/m	层位	样品类型	$C_{29}20S/\Sigma C_{29}$	$C_{29}\beta\beta/\Sigma C_{29}$
切163	1848.53	E_{1+2}	储层抽提物	0.48	0.52
切163	1892~1896	基岩	原油	0.43	0.47
切401	1420.6	E_{1+2}	储层抽提物	0.44	0.43
切401	1463.09	基岩	储层抽提物	0.47	0.46

综合分析,认为远离主要油源断裂切16井东断层和 E_{1+2} 储层不连通是导致目前切4井区 E_{1+2} 地层勘探未获突破、基岩油藏规模较小的主要原因。

4.4 成藏模式

通过以上分析,认为昆北断阶带上盘原油和储层沥青属于不同期成藏产物,且原油运移通道也存在差异。

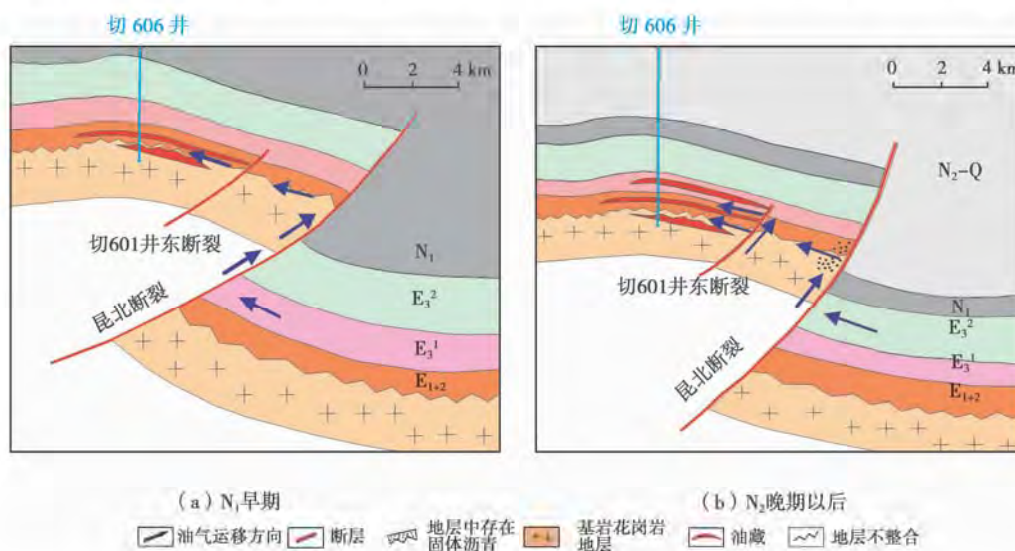


图13 昆北断阶带上盘成藏模式

Fig. 13 The accumulation model of hanging wall of Kunbei faults zone

5 结论

(1) 昆北断阶带上盘储层沥青和原油来源及成熟度不同,原油为扎哈泉凹陷渐新统上部(E_3^2)源岩成熟阶段产物;沥青为扎哈泉凹陷渐新统下部(E_3^1)烃源岩低演化阶段产物并遭破坏形成。扎哈泉凹陷源岩生烃高峰期产物未受破坏,沥青的形成对昆北地区资源勘探前景没有重大影响。

(2) 昆北断阶带上盘原油不是顺层运移的,而是先沿不整合面运移,后沿主要次级断裂运移成藏的结果。切4井区勘探效果较差,主要原因是离主要油源次级断裂较远,且切163井区与切4井区古新统-始新统(E_{1+2})储层不连通。

(3) 昆北地区存在2期成藏,成藏时间分别在中新世早期和上新世晚期以后。扎哈泉凹陷原油沿昆北

N_1 早期,扎哈泉凹陷 E_3^1 源岩进入生烃门限,生成的低演化阶段原油沿昆北断裂纵向运移到昆北断阶带上盘后,再沿不整合面运移到不整合面附近储层中成藏(图13)。后因昆北断裂受到强烈挤压逆冲,上盘地层急剧抬升,遭到大量剥蚀,保存条件变差,原油大部分遭到破坏,轻组分大量散失,形成沥青。因切6井区和切12井区古构造位置较高,第1期油运移成藏规模较大,形成规模较大的固体沥青。

N_2 晚期以后,扎哈泉凹陷 E_3^2 和 E_3^1 源岩进入生烃高峰,生成的油(主要为 E_3^2 烃源岩供烃, E_3^1 源岩厚度较小,本身生烃能力较小)沿昆北断裂纵向运移到昆北断阶带上盘后,先沿不整合面侧向运移,再沿主要次级断裂(切601井东断层)运移并在基岩、 E_{1+2} 和 E_3^1 储层成藏(图13),形成目前的油藏分布格局。

断裂纵向运移到昆北断阶带上盘后,不整合面是第1期油主要侧向运移通道;主要次级断裂对第2期油运移成藏具有重要控制作用。靠近主要次级断裂的封闭性储层,有利于油气富集,是下步勘探重要目标。

参考文献

- [1] 陈国民,万云,张培平,等.柴达木盆地昆北断阶带圈闭特征[J].西南石油大学:自然科学版,2010,32(4):39-43.
Chen Guomin, Wan Yun, Zhang Peiping, et al. Trap feature of the northern Kunlun faults zone in Qaidam Basin[J]. Journal of Southwest Petroleum University, Science Technology Edition, 2010, 32(4): 39-43.
- [2] 戴俊生,曹代勇.柴达木盆地新生代构造样式的演化特点[J].地质论评,2000,46(5):455-460.
Dai Junsheng, Cao Daiyong. Evolution characteristics of Cenozoic structural style in the Qaidam Basin[J]. Geological Review, 2000, 46(5): 455-460.

- [3] 陈国民,夏敏全,万云,等.柴达木盆地昆北断阶带构造特征及油气前景初步评价[J].天然气地球科学,2011,22(1):89-96.
Chen Guomin, Xia Minquan, Wan Yun, et al. Structural characteristics and exploration prospects of North-Kunlun faults zone in Qaidam Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(1): 89-96.
- [4] 江波,司丹,王兰生,等.柴西南地区油气成藏特征及有利储层预测[J].天然气工业,2004,24(9):8-10.
Jiang Bo, Si Dan, Wang Lansheng, et al. Oil/gas reservoiring characteristics and beneficial reservoir body prediction in the southwest part of Caidamu Basin[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(9): 8-10.
- [5] 徐凤银,彭德华,侯恩科.柴达木盆地油气聚集规律及勘探前景[J].石油学报,2003,24(4):1-6.
Xu Fengyin, Peng Dehua, Hou Enke. Hydrocarbon accumulation and exploration potential in Qaidam Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(4): 1-6.
- [6] 官大勇,胡望水,张文军,等.柴西地区逆断裂类型及其与油气运聚的关系[J].新疆石油地质,2004,25(6):621-623.
Guan Dayong, Hu Wangshui, Zhang Wenjun, et al. Reverse fault types and their relationship with petroleum migration and accumulation in western Qaidam Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2004, 25(6): 621-623.
- [7] 彭德华,苏爱国,朱扬明,等.柴达木盆地西部第三系盐湖相烃源岩特征与成烃演化[J].石油学报,2005,26(增刊):92-101.
Peng Dehua, Su Aiguo, Zhu Yangming, et al. Hydrocarbon-generation evolution and characteristics of source rocks in the tertiary salt lake facies in western Qaidam Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(Supplement): 92-101.
- [8] 李建明,史玲玲,汪立群,等.柴西南地区昆北断阶带基岩油藏储层特征分析[J].岩性油气藏,2011,23(2):20-23.
Li Jianming, Shi Lingling, Wang Liqun, et al. Characteristics of basement reservoir in Kunbei fault terrace belt in southwestern Qaidam Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2011, 23(2): 20-23.
- [9] 付玲,张子亚,付锁堂,等.柴达木盆地昆北油田路乐河组沉积相及储层特征[J].成都理工大学学报:自然科学版,2010,37(5):494-500.
Fu Ling, Zhang Ziya, Fu Suotang, et al. Characteristics of the sedimentary facies and reservoirs in Lulehe Formation of the Kunbei oilfield in Qaidam Basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2010, 37(5): 494-500.
- [10] 付锁堂.柴达木盆地西部油气成藏主控因素与有利勘探方向[J].沉积学报,2010,28(2):373-379.
Fu Suotang. Key controlling factors of oil and gas accumulation in the western Qaidam Basin and its implications for favorable exploration direction[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(2): 373-379.
- [11] 何登发,李德生,吕修祥.中国西北地区含油气盆地构造类型[J].石油学报,1996,17(4):8-18.
He Dengfa, Li Desheng, Lü Xiuxiang. Tectonic types of petroliferous basins in NW China[J]. Acta Petrolei Sinica, 1996, 17(4): 8-18.
- [12] 李德生.中国含油气盆地的构造类型[J].石油学报,1982,3(3):1-12.
Li Desheng. Tectonic types of oil and gas basins in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 1982, 3(3): 1-12.
- [13] 孙兆元.压(扭)性垂向交叉断裂与柴达木盆地油气田的形成[J].石油学报,1989,10(4):19-26.
Sun Zhaoyuan. Compressional-torsional vertical, intersecting faulting and formation of oil-gas field in Qaidam Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 1989, 10(4): 19-26.
- [14] 罗群,庞雄奇.运用断裂控烃理论实现柴达木盆地油气勘探突破[J].石油学报,2003,24(2):24-29.
Luo Qun, Pang Xiongqi. Application of fault control hydrocarbon theory to realize a great breakthrough of petroleum exploration in Qaidam Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(2): 24-29.
- [15] 宋建国,廖健.柴达木盆地构造特征及油、气区的划分[J].石油学报,1982,3(增刊):14-23.
Song Jianguo, Liao Jian. Structural characteristics and petroliferous regions in the Chaidamu(Ts adam) Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 1982, 3(Supplement): 14-23.
- [16] 黄第藩,李晋超,张大江,等.柴达木盆地第三系原油的熟化序列及其在石油资源预测中的重要意义[J].石油学报,1989,10(3):1-11.
Huang Difan, Li Jinchao, Zhang Dajiang, et al. The maturation series of Tertiary crude oil from Qaidam Basin and its significance in forecasting petroleum resources[J]. Acta Petrolei Sinica, 1989, 10(3): 1-11.
- [17] 刘海涛,马立祥,王兆云,等.柴西地区含油气系统动态演化研究[J].石油学报,2008,29(1):16-22.
Liu Haitao, Ma Lixiang, Wang Zhaoyun, et al. Study on dynamic evolution of petroleum system in the western Qaidam Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(1): 16-22.
- [18] 李仁伟.地质发生及其古环境意义[J].中国科学 Bulletin, 1989, 34(14): 1208-1211.
Li Renwei. Geological occurrence and its paleoenvironmental significance of gammacerane[J]. Chinese Science Bulletin, 1989, 34(14): 1208-1211.
- [19] 陈中红,查明,吴孔友,等.柴达木盆地东部侏罗系煤系烃源岩生烃潜力评价及地球化学特征[J].吉林大学学报:地球科学版,2006,36(增刊):24-28.
Chen Zhonghong, Zha Ming, Wu Kongyou, et al. Sedimentary environments and generation potentials of the possible source rocks in Jurassic System in the eastern Qaidam Basin, China[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2006, 36(Supplement): 24-28.
- [20] 黄光辉,肖中尧,王培荣,等.哈得4油田及其相邻地区原油萘类化合物分布特征及地球化学意义[J].天然气地球科学,2004,15(2):128-132.
Huang Guanghui, Xiao Zhongyao, Wang Peirong, et al. The occurrence and significance of terpenoids in Hade 4 oilfield and correlative areas, Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(2): 128-132.
- [21] 林伶,牟中海,马达德,等.昆北油田切12井区E₃¹碎屑岩储层特征及控制因素[J].特种油气藏,2011,18(4):26-29.
Lin Ling, Mu Zhonghai, Ma Dade, et al. Characteristics and control factors of the E₃¹ clastic rock reservoir in the Q12 block of the Kun-

bei oilfield[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2011, 18(4): 26-29.

[22] 慈兴华, 向巧玲, 陈方鸿, 等. 定量荧光分析技术在原油性质判别方面的应用探讨——以胜利油区为例[J]. 石油实验地质, 2004, 26(1): 100-102.

Ci Xinghua, Xiang Qiaoling, Chen Fanghong, et al. Application of quantitative fluorescence analysis to the distinguishment of oil properties: a case study in Shengli oilfield[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(1): 100-102.

[23] 刘卉, 陈世加, 路俊刚, 等. 陆梁油田白垩系低阻油层的地球化学识别[J]. 断块油气田, 2010, 17(5): 529-532.

Liu Hui, Chen Shijia, Lu Jungang, et al. Identification of Cretaceous oil reservoirs with low resistivity in Luliang oilfield by using geochemical method[J]. Fault-block Oil & Gas Field, 2010, 17(5): 529-532.

[24] 陈世加, 吴恩伟, 路俊刚, 等. 营尔凹陷下白垩统油气勘探应避开高压水层[J]. 天然气工业, 2006, 26(11): 24-26.

Chen Shijia, Wu Enwei, Lu Jungang, et al. Effects of high-pressure water zones to hydrocarbon migration in Lower Cretaceous of Yinger sag[J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(11): 24-26.

[25] 梁宇, 任战利, 王彦龙, 等. 鄂尔多斯盆地子长地区延长组流体包裹体特征与油气成藏期次[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 182-191.

Liang Yu, Ren Zhanli, Wang Yanlong, et al. Characteristics of fluid inclusions and reservoiring phases in the Yanchang Formation of Zichang area, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(2): 182-191.

[26] 宋义民, 梁松朴, 黄其贵, 等. 高全烃背景值下油气异常显示识别[J]. 录井工程, 2005, 16(3): 35-39.

Song Yimin, Liang Songpu, Huang Qigui, et al. Oil-gas abnormal identification under the condition of high total hydrocarbon background value[J]. Mud Logging Engineering, 2005, 16(3): 35-39.

[27] 陈世加, 范小军, 路俊刚, 等. 沥青对储集层物性及油气富集的影响[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(1): 70-76.

Chen Shijia, Fan Xiaojun, Lu Jungang, et al. Impact of bitumen on reservoir properties and hydrocarbon accumulation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(1): 70-76.

[28] Lomaodo A J. The influence of solid reservoir bitumen on reservoir quality[J]. AAPG Bulletin, 1992, 76(8): 1137-1152.

(收稿日期 2012-05-17 改回日期 2012-08-29 责任编辑 张 怡)

《石油学报》2013 年第 1 期部分文章预告(I)

鄂尔多斯盆地致密油、页岩油特征及资源潜力	杨 华等
塔里木盆地库车坳陷和塔西南坳陷油气地质特征类比及勘探启示	何登发等
塔里木盆地沙雅隆起下白垩统双源三幕油气充注成藏的流体包裹体证据	斯尚华等
西昆仑山前柯东构造新生代构造变形及油气意义	杜治利等
松辽盆地白垩系青山口组泥岩微观孔隙特征	黄振凯等
吐哈盆地柯柯亚地区致密砂岩气储层“甜点”类型及成因	杨升宇等
东营凹陷古近系红层储层成岩作用特征及形成机制	王 健等
黄河口凹陷 BZ35/36 构造高硫原油特征及运聚方向	傅 强等
川西坳陷中段上三叠统须家河组水岩相互作用机制	刘四兵等
川东北宣汉—达县地区晚中生代—新生代构造应力场转化及其油气意义	唐 永等
致密砂岩有效储层形成的控制因素	李易隆等
火山岩岩性的支持向量机识别	朱怡翔等
济阳坳陷页岩油气评价方法——以沾化凹陷罗家地区为例	王永诗等
油气运移过程中断层启闭性的量化表征参数评价	张立宽等
地震趋势异常识别技术及其在碳酸盐岩缝洞型储层预测中的应用 ——以塔里木盆地 Y 地区为例	姚清洲等
基于 Curvelet 变换的稀疏反褶积	孟大江等
塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏开发理论及关键技术	李 阳
多分量地震全波形弹性反演预测剩余油分布	石玉梅等
注入速度对疏水缔合聚合物剪后恢复性能的影响	张 瑞等
接枝丙烯酸胺共聚物在水溶液中的缔合与黏弹行为	钟传蓉等
热复合化学方法改善极强敏感性稠油油藏开发效果机理	曹嫣铤等