

准噶尔盆地风城油砂矿床储层特征及成因分析

刘虹强^{1,2} 孙 燕¹ 王祝彬¹ 刘人和² 拜文华²

(1. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059;

2. 中石油勘探开发研究院廊坊分院新能源所, 河北 廊坊 065007)

摘要:油砂又称沥青砂,是一种含有天然沥青的砂岩或其他岩石。本文在简要概述准噶尔盆地油砂分布特征的基础上,分别从岩石学及储层地质学等方面分析了风城油砂矿赋存的层位、岩石学特征及储层的孔隙度和含油率等方面的特征;在成因方面,分别从构造、成岩作用及生物降解三方面分析了风城油砂矿形成的条件,其中,区域上的断层为油砂矿的形成起到了封闭遮挡的作用,而不整合则起到了运移通道的作用;成岩作用及生物降解对油砂矿的储层及油砂的最终形成起到了重要作用。通过对准噶尔盆地西北缘油砂储层特性及成因分析,探讨油砂矿的成因类型,为进一步勘探开发丰富的油砂资源,提供有效依据。

关键词:油砂;准噶尔盆地西北缘;储层;成因类型

中图分类号:P618.130.2⁺1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2008)06-1307-08

油砂是一种重要的能源矿产,是原油形成后向近地表或浅地表的砂体运移,在砂体中轻组分挥发,重组分残留下来形成的沥青等重油资源。油砂作为非常规石油资源的一种,其分布广泛,资源量非常丰富,是重要的石油、天然气替代能源,同时也是中国未来能源安全的重要保障之一,在新一轮的全国油气资源评价中油砂是构成非常规油气资源评价的重要组成部分。

据统计,在目前的开采技术条件下,已知世界油砂技术可采资源量约为 1035.1m³,占世界石油可采资源量的 32%,约为常规石油剩余可采资源量的 68%。世界油砂资源丰富的国家主要有加拿大、俄罗斯、委内瑞拉等。中国的油砂资源也十分丰富,初步调查油砂地质资源量为 59.7 亿 t,主要分布于准噶尔、塔里木、柴达木、四川、鄂尔多斯及松辽盆地,具有点多、面广、层多、含油率中等、油质较好等特点。但对于油砂的开发利用,目前世界上还仅限于加拿大、美国等几个少数国家,中国尚处于研究阶段。准噶尔盆地具有丰富的油砂资源,众多研究单位已在该地区进行过相关的地质调查和研究。笔者主要分

析总结准噶尔盆地风城地区油砂的基本特征,并对其成因进行了初步的探讨,为该区油砂资源勘探、开发及潜力利用研究提供参考依据^[1]。

1 油砂成矿地质背景

新疆准噶尔盆地位于中国西北边陲,面积约 13×10⁴ km²,是中国大型含油气盆地之一。该盆地为地块挤压复合盆地,周边被天山、阿尔泰山、西准噶尔界山等褶皱山系环绕,盆地形成始于晚石炭系,经历了晚海西期的裂陷阶段、印支—燕山期的凹陷阶段、喜马拉雅的收缩—整体上隆阶段,形成了多旋回的生储盖组合。多次的构造运动带来了多种类型油气藏的形成,同时也伴随着油气藏的破坏,油气再次发生运移,甚至使储层裸露出地表,因而盆地周边可见到大量的各式各样的油气显示。如油气苗、稠油、固体沥青、沥青砂和地蜡等都是已形成的油气藏遭受破坏的证据。

准噶尔盆地具有丰富的油砂资源,主要分布在盆地西北边缘的扎依尔山—哈拉阿拉特山山前、南缘的天山东缘的克拉美丽山山前(图 1)。在完成对盆

收稿日期:2008-10-25;改回日期:2008-11-07

资助项目:国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409800)和国家自然科学基金项目(4080207-17,40212020)共同资助。

作者简介:刘虹强,男,1983年生,硕士,主要从事非常规油气及勘探开发研究;E-mail:liuhongqiang_1983@163.com。

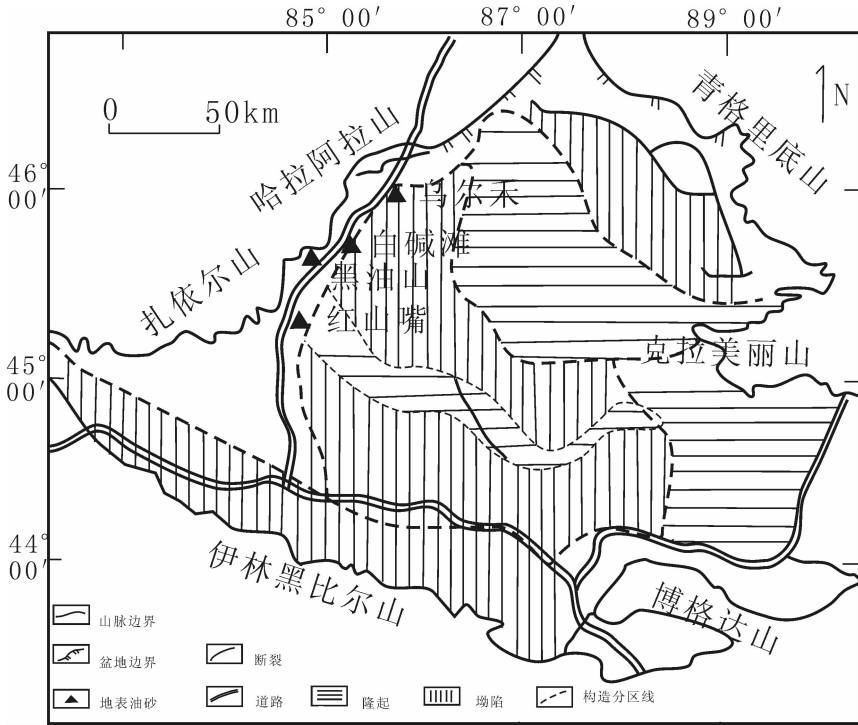


图1 准噶尔盆地西北缘油砂分布位置

Fig.1 Distribution of oil sands at the northwest margin of the Junggar Basin

地重点区块的概查及详查钻探工作后,初步查明盆地埋藏 100 m 以内的油砂资源量为 1.52 亿 t,仅在西北缘就获得了油砂油储量 1.32 亿 t^[2]。

2 风城油砂矿床特征

风城油砂矿位于盆地西北缘,是西北缘最大的一座油砂矿床。矿区地层简单,自下而上为石炭系(C)、上侏罗统齐古组(J_{3q})或缺失、下白垩统吐谷鲁组(K_{1t})及第四系(Q₄)。石炭纪地层岩性致密,分布广泛,构成油砂矿区的基岩和紧邻的哈拉阿特山。下白垩统超覆不整合在石炭纪地层之上,其中下白垩统的吐谷鲁组为主要的油砂矿层。第四纪地层在矿区表层广泛分布,主要是以洪积物的形式覆盖于地表。

风城油砂矿床含矿层主要为白垩系(图 2),构造上为一南东倾的单斜,倾角 2~3°。这里油砂分布连片集中,厚度大,形成多座规模不等的油砂山丘。自北向南,油砂厚度逐渐减薄,最厚处 10 m,最薄处 0.5 m,并可见油砂矿层尖灭处。25 块露头样品分析表明,含油率 4.5%~9.8%,平均为 8.4%。

其中,白垩系从含矿性上分为 2 层:上部含油砂

岩为主要油砂层,单层厚度大,3~15.4 m,连续性较好,岩性为中-细粒砂岩和角砾岩,含油饱满,含油率平均 8.7%,含油砂面积约为 3.73 km²;下部为吐谷鲁组底部的含油底砾岩,发育交错层理,厚度为 4~12 m,含油率低,为 3%~4%,含油砂面积约为 8 km²。

3 油砂岩石学特征

3.1 油砂岩石学类型

根据岩心和薄片观测和统计,风城地区油砂储层的主要岩石类型为砂岩、砂砾岩、砾岩,其中以砂岩、砂砾岩两种类型为主。砾岩中砾石大小不均,含油率与砂岩相比较低,其中部分层段达到油砂工业品位,在下倾方向为油田的稠油产层。岩性分层统计结果表明,上部白垩纪地层岩性主要以细砂岩为主,中-细砂岩、砂质砾岩次之。下部侏罗纪地层岩性以粗-中砂岩为主,中砂岩、细砂岩等次之(图 3)。另外,该区含油砂岩矿物组成特征见表 1。

3.2 粒度特征

沉积物的粒度分布主要受水动力条件的控制,粒度与沉积物的搬运营力,搬运距离以及从物源到

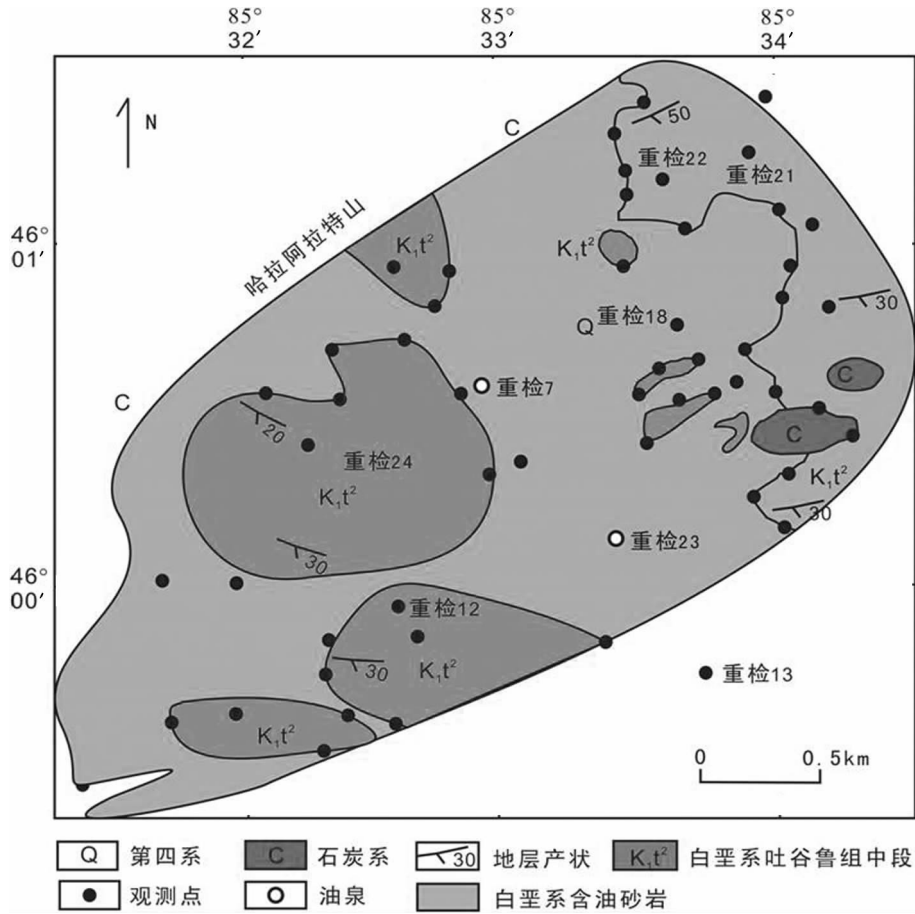


图 2 风城地区油砂分布平面图
Fig.2 Oil sands distribution plan in Fengcheng area

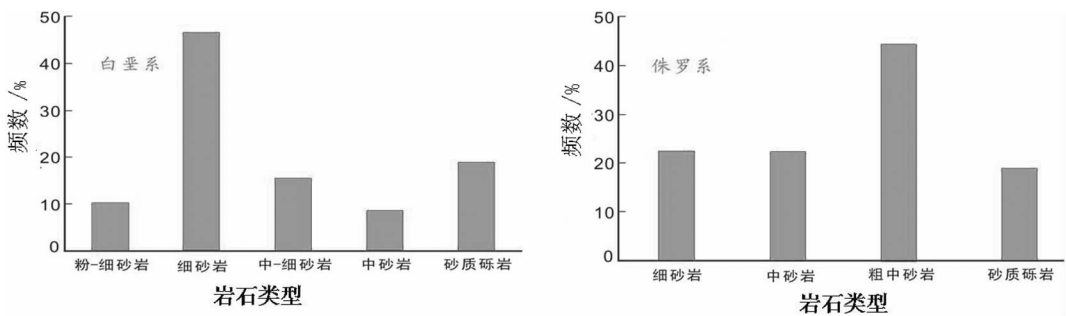


图 3 风城地区白垩系—侏罗系油砂岩石类型直方图
Fig.3 Histogram of oil sand types of Cretaceous - Jurassic strata in Fengcheng area

表 1 风城地区油砂矿物组成特征
Table 1 Mineral composition of oil sands in Fengcheng area

矿物组成	碎屑					胶结物				沥青
	石英	长石	岩屑	云母	非粘土矿物	泥质	碳酸盐	高岭土	黄铁矿	
含量/%	26	24~20	45~47	0.5~1	/	5~6	/	/	/	16~20

沉积环境的坡降有关,这为沉积环境的分析与研究提供了依据。另外,沉积物的物性在很大程度上也与其粒度密切相关,因此粒度分析是研究沉积物岩相和储层特征的重要手段。粒度累积概率图、C-M图在某种程度上可以反映碎屑岩沉积物的沉积过程与搬运机制。通过对矿区8口井15个砂岩样品的粒度分析资料绘制得到的粒度概率曲线与维谢尔等根据已知环境作出的曲线进行对比分析,可以将本区的累计粒度概率曲线划分为3种类型(图4):

I型:两段式,由跳跃和悬浮两个次总体组成。跳跃总体含量75%~90%,粒度区间为0.06~0.5 mm,斜度50~60°,悬浮总体含量10%~15%,粒度区间为0.01~0.12 mm,斜度10~15°。F·T截点主要为突变式,在0.06~0.5 mm。这类曲线与维谢尔古河流型曲线中的分流河道极为相似,是该区较为常见的曲线类型。

II型:曲线外观呈A、B、C三段式。砂岩的跳动总体占优势,具微量悬浮和牵引总体。跳跃总体含量80%~90%,斜度60~70°,悬浮总体含量4%~7%,斜度20°左右。C·T截点为0.12~0.25 mm, F·T截点主要为突变式,在0.12~0.20 mm。该类曲线是风城地区最主要、最常见的曲线类型,与密西西比河三角洲支流河口砂坝、分流河道、或奥尔塔马霍河河口分流河道砂曲线类型相类似。

III型:四段式,曲线至少由4个总体组成。该类曲线仅见于19井,砂岩的跳动总体占绝对优势,具微量悬浮和牵引总体。跳跃总体含量90%~95%,斜度60~70°,悬浮总体含量2%~6%,斜度20~45°。砂岩中有众多截点,一方面可能是由于河流相互截刻,使

总体发育不完全,另一方面也可能是由于受双向水动力影响的结果,属河口环境。

3.3 储层物性特征

3.3.1 孔隙度

研究区白垩系储集体岩石类型可划分为三大类:①砂岩类储集体,为主要储集体,以细砂岩、粉细砂岩为主,少量中粗砂岩;②砂砾岩类储集体;③砾岩类储集体,分布于底部,厚度大,多为泥质和细粒胶结、沥青或稠油充填。

另外,根据室内煤油法实测油砂孔隙度,表明上部白垩纪地层67个油砂样品(图5),孔隙度最小值为7.22%、最大值为55.67%(富含沥青),主要分布区间为20%~40%,平均孔隙度为25.98%。下部侏罗纪地层3个油砂样品,孔隙度最小值为25.49%、最大值为32.64%,平均孔隙度为29.44%。

3.3.2 含油率

收集风城地区22口井近百个油砂样品进行含油率测试(图6),上部白垩纪地层,含油率最小值为1.04%、最大值为27.07%,主要分布区间为3%~15%,峰值区间出现在10%~15%。下部侏罗纪地层,含油率最小值为0.78%、最大值为14.75%,主要分布区间为3%~10%,峰值区间出现在6%~10%^[3]。

另外,矿区内岩性跟含油率亦有较好的对应关系(图7)。对于粉、细砂岩,含油率分布具有明显的正态分布特征,其中含油率大于3%的样品数有318个,占总数的95.2%。主要分布区间位于7%~25%,峰值区间出现在9%~12%。对于中、粗砂岩,含油率大于3%的样品数有126个,占总数的94.7%。主要分

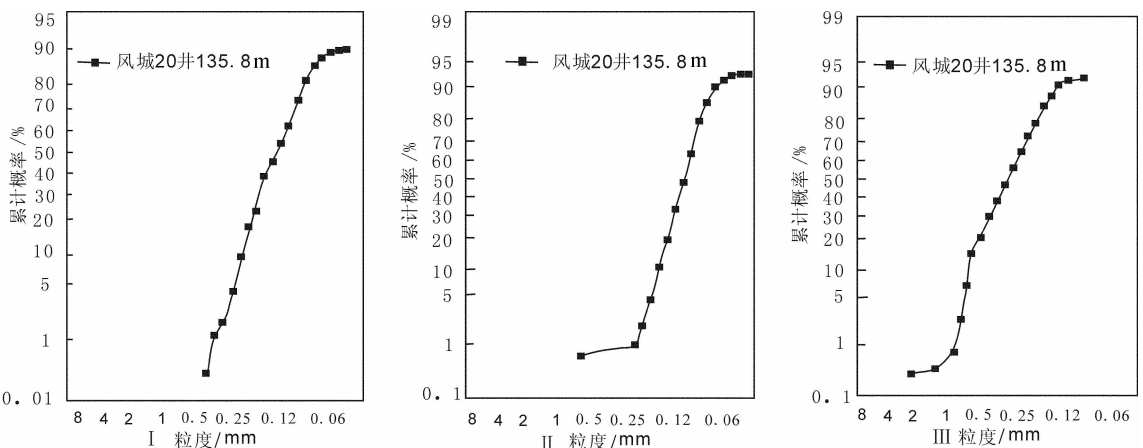


图4 油砂样品I—III型概率累计曲线图
Fig.4 I—III cumulative probability graph of oil sand samples

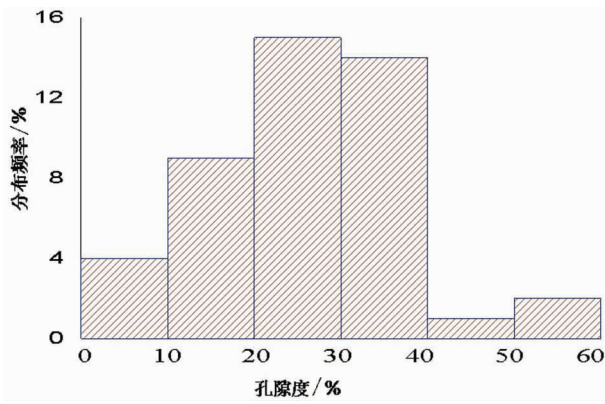


图 5 风城地区白垩系孔隙度分布直方图

Fig.5 Porosity distribution histogram for Cretaceous oil sands in Fengcheng area

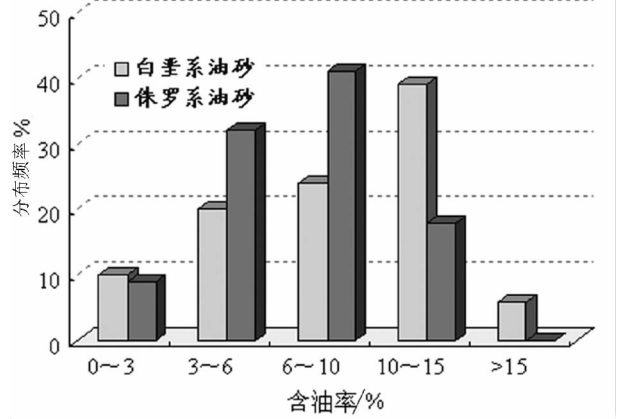


图 6 白垩系—侏罗系层位油砂含油率分布

Fig.6 Oil contents in oil sands of Cretaceous-Jurassic strata

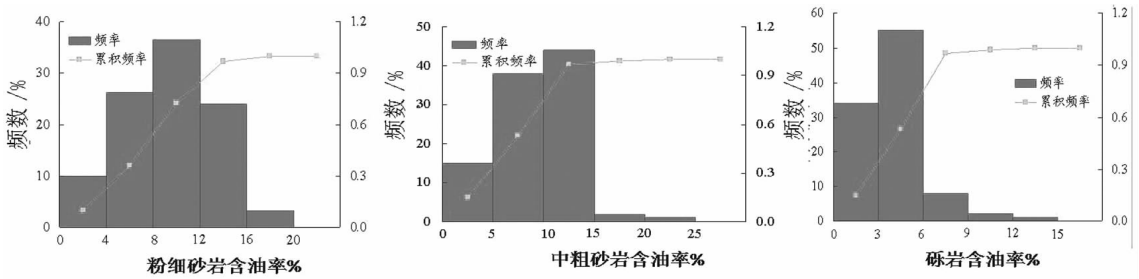


图 7 不同岩性含油率分布直方图

Fig.7 Histograms of oil content of different lithology distribution histogram

布区间位于 9%~12%，峰值区间为 10%~11%。对于砾岩，含油率大于 3% 的样品数有 64 个，占总数的 65.9%。含油率分布也体现出明显地优势分布，分布形态出现双峰，主要分布区间位于 2%~5%，峰值区间为 2%~4%。由此可见，上部砾岩地层含油砂矿性要优于下部砾岩的含矿性。

3.3.3 有用组分的赋存状态

油砂通常是以砂粒(矿物)、油和水组成。矿物组成及油、水在砂粒(矿物)间的存在形式直接影响到油与砂粒的分离。

通过单偏光显微镜下的普通透射光显示(图 8)，可以看到井下油砂矿中的沥青部分呈(棕黄色)液滴状存在于颗粒之间，而且油砂矿与颗粒之间有一层很薄的水膜，这种水膜特征使之很易于用水洗法分离出油砂油；部分油砂矿多集中充填在颗粒边

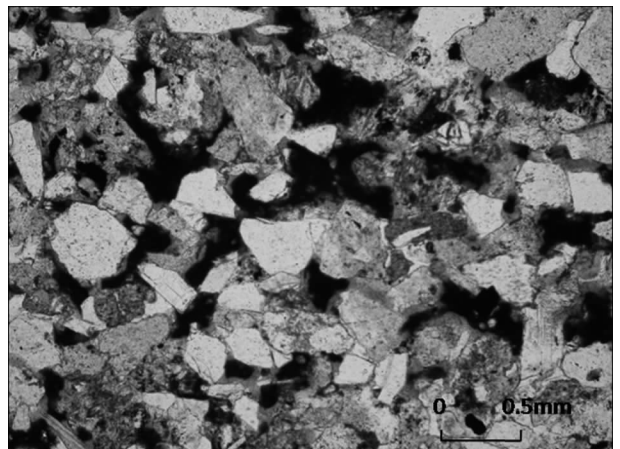


图 8 单偏光油砂照片

Fig.8 Monopolarizer photos of oil sands

缘或颗粒之间构成胶结物，含水低，分离油砂油需要多次水洗。

4 风城油砂矿石特征

4.1 油砂的物理性质

油砂的物理特征包括油砂储层岩石密度、强度、油砂油密度及粘度等,其中与油砂成因机理密切相关的主要是油砂油的密度及粘度。

表 2 为国内典型油砂油与稠油的物性性质对比,其中新疆风城地区油砂油在标准条件下密度为 1.01 g/cm^3 , 50°C 的动力粘度高达 $12725 \text{ MPa}\cdot\text{s}$ 。

另外,油砂抽提物物理性质分析结果表明,本区油砂的视密度分布范围较大,从 $1.3\sim 3.8 \text{ g/cm}^3$,平均值约为 2.08 g/cm^3 。其中,视密度出现异常低值的原因可能是由于油砂含油率很高造成的。而风城露头样品油砂油的测试结果显示,其密度相对较高,平均达到 1.08 g/cm^3 左右,API 重度为 -1.21 , 达到超重油范围。

4.2 油砂的化学性质

油砂油的相对分子质量大、组成和结构复杂,主要由 C、H、O、N、S 等元素组成,其中以 C 和 H 为主。表 3 为风城地区油砂样品抽提物组分及化学性质范围显示,其与国内其他超重原油具有类似的组成,不过油砂油的碳含量略高于稠油。此外,油砂油中还含有微量的钒、铜等金属元素,这些微量元素虽然含量相对少,但其对油砂油的加工有较大影响。

表 2 国内典型油砂油及稠油物理性质

Table 2 Physical properties of typical oil sands and heavy oil

名称		油砂油密度 (20°C) / g/cm^3	动力黏度 (50°C) / $\text{mPa}\cdot\text{s}$
油砂油	新疆风城	0.9748	12725
	四川厚坝	1.0028	/
	松辽西斜坡	1.0185	6720
稠油	辽河欢喜岭	0.9469	268.5
	胜利单家寺	0.9719	6355.4
	河南井楼	0.9489	1436.8

表 3 风城油砂抽提物组分及化学性质

Table 3 Components and chemical properties of extract of oilsands

地区	灰分	饱和烃	芳烃	非烃	沥青质	C / %	H / %	N+S+O / %
风城	/	3.95	1.13	12.24	71.56	86.7	11.8	5.8

5 风城油砂矿床成因分析

5.1 构造对成矿的影响

结合风城油砂矿区的地质构造背景,可将风城油砂矿的矿床成因类型划分为斜坡散逸型大类中的复杂斜坡散逸型亚类,主要成矿形式是断层遮挡型(图 9),其次为不整合型^[4]。准噶尔风城重 32 井区稠油及油砂就是发育在褶皱发育的盆地或凹陷边缘,由于边缘逆冲断层的遮挡,使得断层下盘形成了品质较好的稠油藏,部分稠油沿断裂上升至上盘及浅部物性较好的白垩系砂层中形成油砂矿。石炭系的不整合面也为上部白垩统稠油油藏的油气运移提供了导矿构造(运移通道)。所以,在矿床成因上主要是复杂斜坡散逸型中的断层遮挡型成矿^[5]。

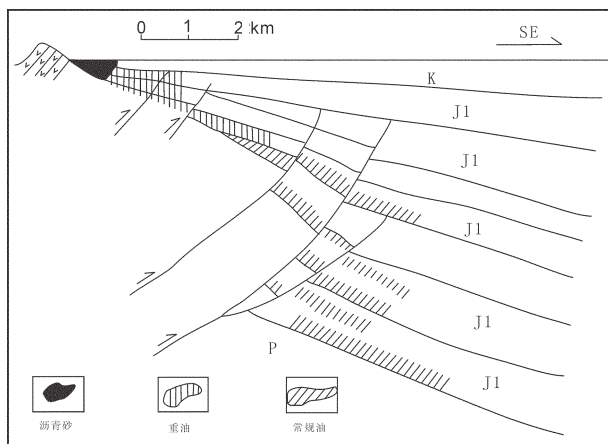


图 9 准噶尔盆地西北缘油藏及油砂分布模式图

Fig.9 Distribution model of oilpools and oil sands at the northwest edge of the Junggar Basin

5.2 成岩作用对成矿的影响

矿区内含矿岩石类型主要是细砂岩,其次为中-粗砂岩和砾岩。成岩作用主要是原始的压实作用,由于油砂矿埋深普遍比较浅,大部分埋深在 $50\sim 100 \text{ m}$ 的浅层,岩石固结差,孔隙发育,为下部油源的运移提供了有利的条件。

5.3 生物化学作用对西北缘油砂矿影响

西北缘油砂的稠化主要是生物降解。生物降解作用是造成原油变稠的最主要的原因,生物降解作用通常选择性地破坏饱和烃和芳香烃,使其相对比例减少,而非烃、沥青质、硫和金属元素比例则随生

物降解作用的增强而增加,从而使原油变稠、变重。本区油砂油样品的族组分特征显示,主要以含沥青质和非烃为主。其中,样品沥青质平均含量为 51.94%,相对而言,饱和烃和芳烃平均含量较低,分别为 24.57%、10.06%,由此反应了该区油砂油遭受了严重降解。

另外,矿区原油地球化学特征差别还是比较明显,由此根据生物降解相对强度可将其分为降解较轻与降解较重两类。对于生物降解较轻的油砂,主要分布于风城地区侏罗系齐古组,在该区油砂中,不仅链状的正、异构烷烃、胡萝卜烷已全部损失,而且环状的二环倍半萜、轻芳烃类、规则街烷(20R、20S)也消耗殆尽,规则甾烷和重芳烃类也受到明显影响,而妊街烷类则比较稳定。其稠油密度分布在 0.95~0.98g/cm³。对于降解作用较重的油砂,可见于乌尔禾地表油砂中。在这类油砂中,不仅前述的正、异构烷烃、胡萝卜烷完全消失,甚至一般稠油中常见的甾、萜烷等多环烷烃也几乎全部降解,包括妊甾烷类、甾烷类、三环萜烷和脱甲基藿烷等,但伽马蜡烷并没有受到影响,这无疑是一抗降解能力极强的生物标志物^[6]。

芳烃化合物由于具有一定的生物毒性,通常对生物降解有较强的抵抗能力,尤其是单芳甾烷和三

芳甾烷是芳香烃中抗生物降解能力最强的化合物,随生物降解作用程度的增加,其相对含量也不断增加,但生物降解程度很高时,芳香甾烷也开始降解。如图 10 所示的油砂样品分析来看,降解程度较低的样品中,单芳甾烷和三芳甾烷保留较好,降解程度严重的样品中,单芳甾烷已经完全消失,三芳甾烷部分仍保留下来^[7]。

6 结 论

通过一系列的研究,确定了风城油砂矿矿体主要赋存在白垩纪和侏罗纪地层中,且含矿岩性以细-粉砂岩为主,总体上,储集层物性特征良好,为下一步的勘探开发提供了有利的依据。

在成因方面,准噶尔风城油砂矿是典型的复杂斜坡散逸型成因,构造运动、成岩作用和生物化学作用对油砂矿的形成都起到了重要作用。

参考文献(Refenerces):

- [1] 关德师,牛嘉玉,郭丽娜,等. 中国非常规油气地质 [M]. 北京:石油工业出版社, 1995:35-45.
Guan Deshi, Niu Jiayu, Guo Lina, et al. Unconventional Oil-gas Geology in China[M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 1995:35-45(in Chinese).
- [2] 陈建平,查明,柳广弟. 准噶尔盆地西北缘斜坡区不整合面在油气成藏中的作用[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2000, (4): 75-78.
Chen Jianping, Zha Ming, Liu Guangdi. Importance of unconformity in oil and gas accumulation in the north-western slope of Junggar basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2000, (4):75-78 (in Chinese with English abstract).
- [3] 胡海燕,李平平. 准噶尔永进地区深部储层的保存与发育机理[J]. 中国地质, 2007, 34(1):81-85.
Hu Haiyan, Li Pingping. Preservation of deeply buried reservoirs in the Yongjin zone, Junggar basin, and its development mechanism [J]. Geology in China, 2007, 34(1):81-85(in Chinese with English abstract).
- [4] 王屿涛,蒋少斌. 准噶尔盆地西北缘稠油分布的地质规律及成因探讨[J]. 石油勘探与开发, 1998, (5):34-36.
Wang Yutao, Jiang Shaobin. An approach to the distribution and origin of heavy oil in the northwest margin of Junggar basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 1998, (5):34-36 (in Chinese with English abstract).
- [5] 杨文孝. 准噶尔盆地非构造油气藏成因类型及成藏主控因素[J]. 新疆石油地质, 2005, (5):23-26.
Yang Wenxiao. Main factors of petroleum accumulations and origin types of non-structural reservoirs in Junggar Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2005, (5):23-26(in Chinese with English abstract).

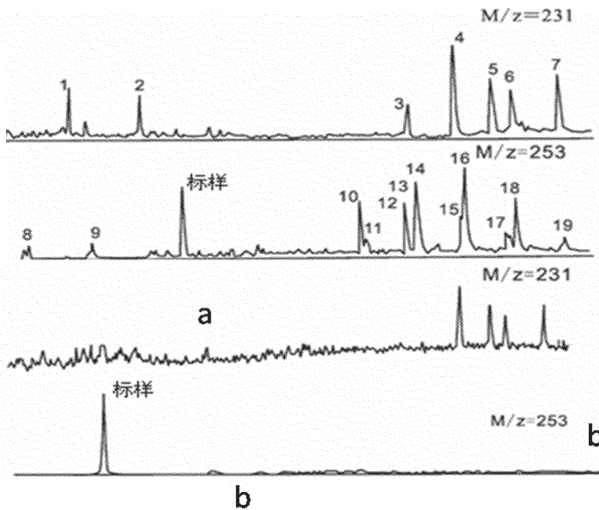


图 10 准噶尔西北缘不同降解程度油砂三芳甾烷和单芳甾烷分布特征

a—生物降解程度较轻的样品;b—生物降解程度较重的样品

Fig.10 Distribution of triaromatic steroid and monoaryl sterane from variously-degraded oil sands of the northwest Junggar Basin

a-The lesser biological degradation of the sample;
b-The more biological degradation of the sample

- [6] 杨磊, 刘池洋, 赫英, 等. 鄂尔多斯盆地石油中沥青的拉曼光谱特征[J]. 中国地质, 2007, 34(3):436-439.
Yang Lei, Liu Chiyang, He Ying, et al. Characteristics of laser Raman spectra of bitumen in oil in the Ordos basin [J]. *Geology in China*, 2007, 34(3):436-439(in Chinese with English abstract).

- [7] 王屿涛. 准噶尔盆地西北缘稠油生物降解特征 [J]. 沉积学报, 1994, (1):81-88(in Chinese with English abstract).
Wang Yutao. Characteristics of heavy oil biodegradation in the northwestern margin of Junggar basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1994, 1:81-88.

Reservoir feature and genetic analysis of oil-sand deposit in Fengcheng of Junggar basin

LIU Hong -qiang¹, SUN Yan¹, WANG Zhu-bin¹, LIU Ren-he², BAI Wen-hua²

(1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059 China;

2. Langfang branch, Research institute of petroleum Exploration and Development, Petrochina. Langfang, Hebei 065007 China)

Abstract: Oil sands, also known as asphaltic sands, containing a natural sandstone of asphalt or other rock. This article mainly discusses the occurrence of oil sands, petrology, porosity and oil content of the reservoir. To understand the formation of the Fengcheng oilsands, this article analysis the structure, diagenesis and biodegradation, ie. three conditions for the formation of oil sands. The regional faults serve as trapping structures; the unconformities play a role of migration pathways; and the diagenesis and biological degradation of oil sands ultimately result in the formation of the oil-bearing sands. Study of the features and origin of oil-sand reservoir can help exploration and mining of the oil-sand resources in the northwest margin of the Junggar Basin.

Key words: oil-sand; northwest margin of Junggar Basin; reservoir; genetic types

About the first author: LIU Hong -qiang, male, born in 1983, master, mainly engages in the study of unconventional oil and gas; E-mail: liuhongqiang_1983@163.com.