

新疆风城地区油砂地质特征及成因浅析^{*}

方朝合¹ 刘人和^{1,2} 王红岩¹ 童凯军³ 拜文华²

(1. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院新能源所 2. 中国地质大学·北京 3. 成都理工大学能源学院)

方朝合等. 新疆风城地区油砂地质特征及成因浅析. 天然气工业, 2008, 28(11): 127-130.

摘 要 据新一轮油气资源评价显示,油砂资源在国内众多盆地皆有分布,其中以准噶尔盆地西北缘风城油砂性质最好。虽然在该区的钻探已取得了较大的进展,但整体而言,其勘探程度还相对较低。通过大量岩心、薄片观察和储集物性资料分析,对风城油砂的储层特征进行了整体评价,分析认为上部白垩系地层与下伏地层相比,具有孔隙度大、含油率高及油砂分布面积广等特点,其河道心滩沉积是有利的油砂储集体,可作为下一步勘探开发的重点目标区。另外,通过对盆地西北缘油砂油藏的地球化学性质演化研究,探讨了油砂油的成因类型,为进一步勘探和开发丰富的油砂资源提供了有效依据。

主题词 准噶尔盆地 风城地区 油气资源 油砂 储集层 成因 类型

一、风城油砂矿的基本特征

1. 工区地层及油砂分布特征

工区地层组成较为简单,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(Q)。石炭系基岩岩性致密,构造总体上为一由南东向北西逐渐抬升,最终出露地表,构成油砂区的基岩和紧邻的哈拉阿特山。与风城地区油砂矿发现相关的地层主要为下侏罗统齐古组(J_3q)与下白垩统吐谷鲁组(K_1t)两套地层。其中,重检 13—重 30 一带下白垩统吐谷鲁组超覆于石炭系不整合面上,底部为灰色、灰绿色、深灰色砂质砾岩,含稠油,最大厚度 35 m,砾岩的分选磨圆差,多呈棱角状。由北向南砾岩的厚度由小变大,砾度变细,中部为灰褐色,黑褐色及黄色中细砂岩,再往南,渐变为黄色砂岩。

风城油砂出露地层主要为白垩系(图 1),构造上为一南东倾的单斜,倾角 $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 。这里油砂分布连片集中,厚度大,形成多坐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,并可见油砂层尖灭处。25 块露头样品分析表明,含油率为 4.5%~9.8%,平均为 8.4%。

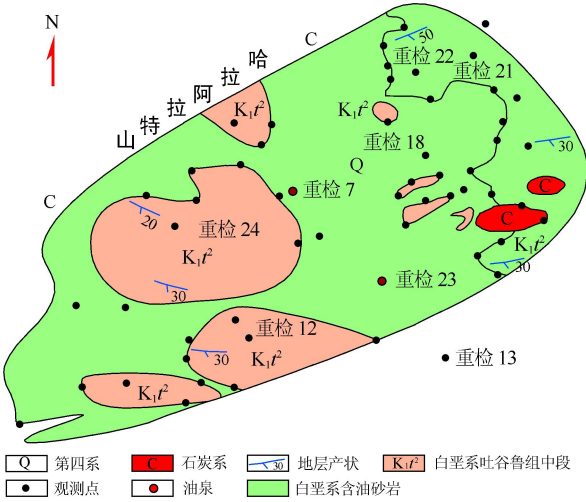


图 1 乌尔禾地区油砂分布平面图^[1]

风城油砂从上至下分为 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,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,厚度为 4~12 m,含油率低,为 3%~4%,含油砂面积约为 8 km²。

^{*} 本文受到“十一五”国家科技支撑计划重点项目“非常规油气评价技术及装备研究”(编号:2006BAB03B08)的资助。本文作者还有成都理工大学能源学院的张银德、中国地质大学(北京)的刘英祥。

作者简介:方朝合,1976 年生,硕士;主要从事油砂、油页岩的研究工作。地址:(065007)河北省廊坊市中国石油勘探开发研究院廊坊分院新能源研究所。电话:(010)69213015。E-mail:fangch@petrochina.com.cn

2. 岩石学特征

(1) 油砂岩石学类型

根据钻井岩心观测和薄片鉴定统计,砂岩是风城地区油砂储层的主要岩石类型,包括砂岩、砂砾岩、砾岩。砾岩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,上部白垩系岩性主要以细砂岩为主,中—细砂岩、砂质砾岩次之。下部侏罗系岩性以粗—中砂岩为主,中砂岩、细砂岩等次之,另外,该区含油砂岩矿物组成特征见表 1。

表 1 风城地区含油砂岩矿物组成特征表

| 矿物组成 | 碎屑 | | | | | 胶结物 | | | | 沥青 |
|-------|----|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|
| | 石英 | 长石 | 岩屑 | 云母 | 非黏土矿物 | 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 |

(2) 粒度特征

通过对工区 8 口井下白垩统地层 15 个砂岩样品,分析风城地区沉积物的粒度概率曲线特征见图 2。

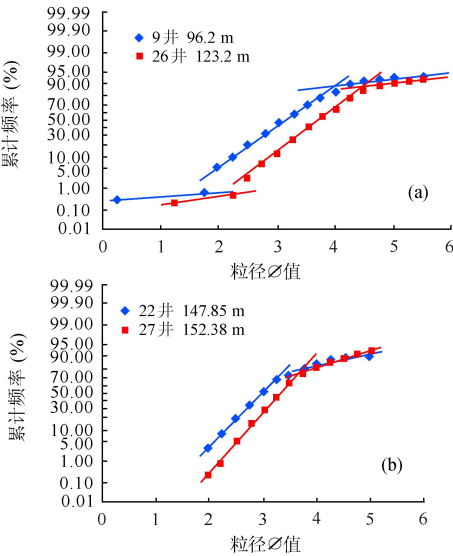


图 2 乌尔禾地区沉积物的粒度概率曲线图

1) 曲线外观呈三段式,这是工区中最常见的粒度曲线,主要由悬浮组分和跳跃组分组成,另有少量滚动组分。其中,悬浮组分占总组分的 30% 左右,斜率为 5°~15°;跳跃组分占总组分的 55% 左右,斜率为 50°左右,细接点一般在 $\phi 3.0 \sim \phi 4.0$ 之间,与奥尔塔马赫河河口砂岩沉积粒度曲线相类似。它的总体斜率不大,说明沉积物负载倾泻或者改造作用差,处于低流速的浅水中。

2) 曲线外观呈两段式,由悬浮组分和跳跃组分组成,其中,悬浮组分占总组分的 20%~30%,斜率为 5°~15°;跳跃组分占总组分的 70%~80%,斜率为 45°~60°,细接点一般在 $\phi 3.5 \sim \phi 4.0$ 之间,表明分选较好—中等,具有水动力较强的河流相特征。并且其跳跃和悬浮段的结合点(S)不是突然的,而是

渐变的,这是河口砂坝分布的最显著的性质。这一过渡边界,分析认为这是由于靠近河口,水流减慢,造成悬浮负载中的较粗颗粒向下过滤,因此在靠近沉积物——水界面处浓度增加的结果。

此外,根据岩心观察、分析化验及水动力分析资料,风城地区侏罗系地层为河流沉积环境,再综合岩性、砂泥比、岩石粒度、分选和磨圆等各项指标判断其主要沉积微相为心滩,向北东和南西方向侏罗系地层逐渐变薄,为河道滞留沉积和河漫滩沉积;白垩系底砾岩为一套山麓环境下的近源沉积,从北往南,白垩系底砾岩岩层逐渐变厚,其总体沉积环境为河流—湖泊环境,发育有河道—心滩—河漫滩至滨湖—浅湖沉积微相。

3. 储层物性特征

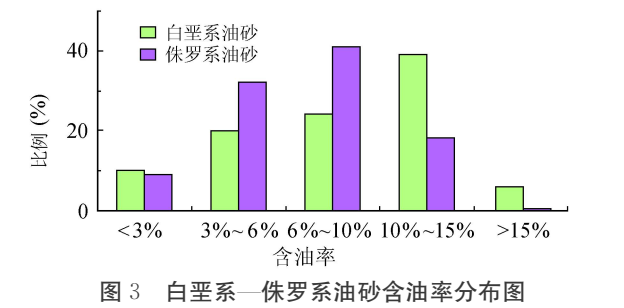
(1) 孔隙度

研究区白垩系油砂储集类型总体可划分为三大类: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。

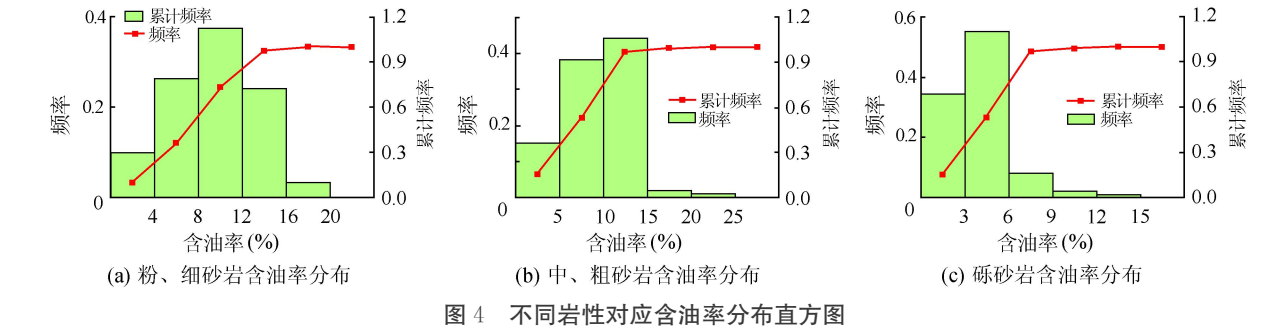
根据室内煤油法实测油砂孔隙度,统计表明,上部白垩系 67 个油砂样品,孔隙度最小值为 7.22%、最大值为 55.67%,主要分布区间为 20%~40%,平均孔隙度为 25.98%。下部侏罗系 3 个油砂样品,孔隙度最小值为 25.49%、最大值为 32.64%,平均孔隙度为 29.44%。

(2) 含油率

收集风城地区 27 口油砂钻孔四百多个油砂样品进行含油率测试,结果显示如图 3,上部白垩系,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%。下部侏罗系,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%。
此外,含油率跟岩性亦有较好的对应关系(图 4)。



4.风城油砂物理化学特征

(1)物理性质
油砂的物理特征包括油砂储层岩石密度、强度、油砂油密度及黏度等,且与油砂成因机理密切相关的主要是油砂油的密度及黏度。
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/cm³,50 ℃ 的动力黏度高达 12 725 mPa·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 1.3~3.8 g/cm³,平均值约为 2.08 g/cm³。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/cm³ 左右,API 重度为 -1.21,达到超重油范围。

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 7%~25%,峰值区间出现在 9%~12%。中、粗砂岩,含油率大于 3% 的样品数有 126 个,占总数的 94.7%。主要分布区间 9%~12%,峰值区间为 10%~11%。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 2%~5%,峰值区间为 2%~4%。由此可见,上部砂岩地层含油率分布要优于底部砾岩含油率分布。

| 名 称 | | 油砂油密度(20 ℃) (g/cm ³) | 动力黏度(50 ℃) (mPa·s) |
|-----|-------|-------------------------------------|-----------------------|
| 油砂油 | 新疆风城 | 1.010 0 | 12 725 |
| | 四川厚坝 | 1.002 8 | / |
| | 松辽西斜坡 | 1.018 5 | 6 720 |
| 稠油 | 辽河欢喜岭 | 0.946 9 | 268.5 |
| | 胜利单家寺 | 0.971 9 | 6 355.4 |
| | 河南井楼 | 0.948 9 | 1 436.8 |
| | 渤海埕北 | 0.953 7 | 767.3 |

(2)化学性质
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,但油砂油的碳含量略高于稠油,并含有微量的钒、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。

| 组分 | 灰分 | 饱和烃 | 芳烃 | 非烃 | 沥青质 | C | H | N+S+O |
|-------|----|------|------|-------|-------|------|------|-------|
| 含量(%) | / | 3.95 | 1.13 | 12.24 | 71.56 | 86.7 | 11.8 | 5.8 |

二、风城油砂成因浅析

1.良好的储盖组合与生油坳陷相匹配
在漫长的地史演化中,准噶尔盆地西北缘形成

逆掩推覆构造,逆冲断层发育,构造复杂,属于典型的复杂斜坡。西北缘克—乌逆掩断阶带,可分为上、中、下 3 个台阶,上侏罗统一白垩系地层超覆不整合在中侏罗统一石炭系地层之上。本区发育多套含油

层系,其中上侏罗统和白垩系粗碎屑岩为重质油及油砂层,在沉积上具有下超上剥的特点,底部为一套砂岩和砂砾岩层,向上逐渐变为泥质岩,自成良好的储盖组合^[1-3]。中央坳陷中的玛纳斯湖生油凹陷距离构造带约 50 km,凹陷沉积了厚度为 4 000~5 000 m 的二叠系生油岩,地化指标证实是好的成熟生油岩。成熟的油气首先运移到距离最近的推覆体构造带中,在沿地层不整合面运移聚集在断阶带的不同类型圈闭中,并一直运移聚集在盆地边缘侏罗系—白垩系地层型圈闭中,形成一系列油藏,从而较好地成为油藏的形成提供了充足的油源。

2. 油气运移中以氧化作用为主

根据西北缘油藏分布规律不难看出,从上至下分别分布有油砂油、稠油及常规油。随着埋深变浅,原油由轻变重,黏度由稀变稠,这些都说明了油气运移过程中所发生的氧化作用。

3. 生物降解作用控制着西北缘油砂油的形成

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(图 5),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% 及 10.06%,由此反应了该区油砂油遭受了严重降解。

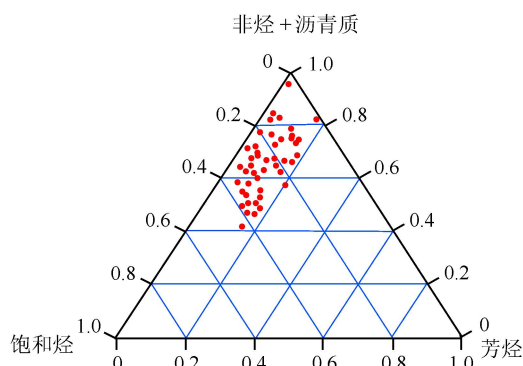


图 5 油砂样品族组分三角图

另外,研究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(20 R、20 S)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 0.95~0.98 g/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,这无疑是一种抗降解能力极强的生物标志物^[4]。

三、结 论

(1) 准噶尔盆地西北缘风城地区油砂分布主要见于下白垩系与上侏罗系两套地层,具有油砂资源丰富,油砂层多,厚度大,分布广等特点。通过油砂物性化验分析,可以看出油砂储集物性条件好,含油率中等偏高。

(2) 与国内典型油砂油及稠油的物性性质对比,风城油砂油的密度和动力黏度均相对偏高;此外,油砂抽提物的化学性质显示,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。

(3) 通过对西北缘油砂油藏的地球化学性质演化研究,认为良好的储盖组合、以氧化作用为主的油气运移及生物降解作用等因素控制着西北缘油砂油的形成。

(4) 风城油砂是我国资源规模较大,油砂出露较多的一个区域,综合该区油砂分布特征及储集条件来看,其开发利用前景较好,为此建议可进一步加深对该区油砂资源的勘探与评估工作。

参 考 文 献

- [1] 胡见义.中国重油、油气资源的形成与分布[J].石油与天然气地质,1994,15(2):105-112.
- [2] 牛嘉玉,洪峰.我国非常规油气资源的勘探远景[J].石油勘探与开发,2002,10(29):5-7.
- [3] 牛嘉玉.重油油砂资源的形成条件与丰度[J].石油勘探与开发,1992,10(增刊):25-32.
- [4] 赵群,王红岩,刘人和,等.挤压型盆地油砂富集条件及成矿模式[J].天然气工业,2008,28(4):121-126.

(修改回稿日期 2008-09-30 编辑 罗冬梅)