

文章编号:1673-5005(2011)05-0027-05

准东三台-北三台地区储层沥青和稠油 特征与成因分析

路俊刚^{1,2}, 陈世加^{1,2}, 王绪龙³, 王 熠¹, 张纪智¹, 石正灏¹

(1. 西南石油大学 资源与环境学院, 四川 成都 610500; 2. 西南石油大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610500; 3. 新疆油田分公司, 新疆 克拉玛依 834000)

摘要:根据原油、储层抽提物和烃源岩地球化学特征,对三台-北三台地区储层沥青和稠油成因进行分析,并研究沥青和稠油对勘探的影响。结果表明:该区稠油和储层沥青分布广泛,稠油主要分布在侏罗系和三叠系地层中,沥青主要分布在侏罗系头屯河组及其以上地层中;稠油和储层沥青均表现出严重生物降解的特征,且来源单一,主要来自二叠系平地泉组烃源岩;三台-北三台地区储层沥青和重质稠油主要是低-未成熟阶段的原油遭严重生物降解的结果,中质稠油主要是成熟阶段原油遭中等生物降解或散失所致;研究区源岩生烃高峰期产物并没有遭受严重破坏,具有较好勘探前景,下步勘探应以中细砂岩分布带和构造下倾部位储层为主要目标。

关键词:生物降解; 储层沥青; 稠油成因; 三台-北三台; 准噶尔盆地

中图分类号:TE 122.1 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1673-5005.2011.05.005

Characteristics and origin analysis of viscous oil and reservoir bitumen in Santai-Beisantai area

LU Jun-gang^{1,2}, CHEN Shi-jia^{1,2}, WANG Xu-long³, WANG Yi¹, ZHANG Ji-zhi¹, SHI Zheng-hao¹

(1. College of Resource and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;

2. Reservoir Geology and Development Project National Key Laboratory, Southwest Petroleum University,
Chengdu 610500, China;

3. Xinjiang Oilfield Company, Karamay 834000, China)

Abstract: According to the geochemical characteristics of crude oil, reservoir bitumen and source rocks, the origin of viscous oil and reservoir bitumen was analyzed. The effects of bitumen and viscous oil on the exploration were researched. The results show that the viscous oil distributes widely in Jurassic and Triassic formation, and the reservoir bitumen distributes mainly in the Toutunhe formation and above the formation. Both viscous oil and reservoir bitumen are suffered from strong biodegradation, and most hydrocarbon components and *n*-alkanes in oil are loss. The oil and bitumen in the region come mainly from Pingdiquan group source rocks of Permian. The heavy viscous oil and reservoir bitumen all derived from the result that the low-maturity crude oil suffered from loss and strong biodegradation. The medium density oil comes from the result that the mature oil suffered from loss and moderate biodegradation. The oil and gas at peak stage is not destroyed seriously, and the later target of exploration should be middle-fine sandstone belt and the downdip part of the Santai-Beisantai uplift.

Key words: biodegradation; reservoir bitumen; origin of viscous oil; Santai-Beisantai; Junggar Basin

三台-北三台地区发现大量稠油和储层沥青,其成因很多^[1-7],有低演化阶段形成的原生稠油,有成熟阶段原油遭生物降解、水洗、气侵等形成的次生稠油和沥青。三台-北三台地区紧邻阜康凹陷,阜康凹陷

为准噶尔盆地三大生油凹陷(阜康凹陷、玛湖凹陷和盆-井西凹陷)之一,根据最新资源评价结果,其生油量为三大生油凹陷之首,紧邻阜康凹陷的三台-北三台地区一直以来都是阜康凹陷油气运移有利指向区,

收稿日期:2011-02-06

基金项目:国家“973”项目(2006CB202305);四川省重点学科项目(SZD0414)

作者简介:路俊刚(1980-),男(汉族),山东潍坊人,讲师,博士,主要从事石油天然气地质与油气地球化学研究和教学工作。

但是其探明储量仅为盆一井西凹陷周缘探明储量的1/5,玛湖凹陷周缘探明储量的1/27,探明储量中54%为稠油,除此之外,储层中还见到大量沥青。目前,对造成探明储量低的原因及沥青和稠油的成因认识不清,直接影响了研究区的勘探工作。因此,笔者根据原油、储层抽提物和烃源岩地球化学特征,对三台-北三台地区储层沥青和稠油特征与成因进行分析,并研究沥青和稠油对勘探的影响。

1 地质概况

三台-北三台地处准噶尔盆地东部帐北断褶带南部,东西分别为吉木萨尔凹陷和阜康凹陷,北到B56井区,南到阜康断裂带,面积约2000 km²(图1)。该区勘探始于20世纪80年代,先后发现北三台油田和三台油田。油气藏类型多样,以断鼻、断块、断背斜为主,从石炭系到第三系均发现油气层,勘探程度较高。

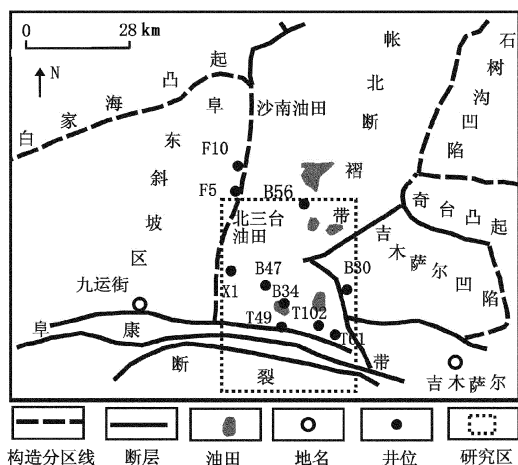


图1 三台-北三台构造位置

Fig. 1 Construction location of Santai-Beisantai

因所处构造部位特殊,海西运动尤其是燕山运动以来,先后遭受数次强度不等的构造抬升剥蚀,使北三台隆起上分布了多条剥蚀尖灭线。从剥蚀强度看,三叠纪末期的印支运动、西山窑组沉积末期的燕山运动一幕、侏罗纪末期的燕山运动二幕和白垩纪末期的燕山运动三幕剥蚀强度最大。

多期构造运动使研究区南部第三系地层直接覆盖在三叠系之上,构造高部位则出现了侏罗系直接暴露地表的情况,对该区油气运移、成藏及保存影响深远。

2 原油和储层沥青特征

2.1 原油分类

根据 DZ/T 0217-2005 石油天然气储量计算规

范,结合研究区原油物性及地化特征,可将原油分为4类:轻质油(密度小于0.84 g/cm³)、正常原油(密度为0.84~0.88 g/cm³)、中质油(密度为0.88~0.92 g/cm³)和重质油(密度大于0.92 g/cm³)。其中,密度大于0.9 g/cm³的原油成因非常特殊,除与成熟度有关外,还存在不同程度生物降解,黏度较大,普遍大于100 mPa·s,本文中称为稠油。根据研究需要,进一步将稠油分为两类,分别为中质稠油(密度为0.9~0.92 g/cm³)和重质稠油(密度大于0.92 g/cm³)。

2.2 稠油和储层沥青分布

三台-北三台地区稠油和储层沥青分布广泛,探明储量中稠油比例较大,达到54%。其中以重质稠油为主,占稠油总量的67.6%,中质稠油占研究区稠油总量的32.4%。如图2所示,研究区从石炭系到古近系地层均有稠油分布,但稠油绝大部分分布在侏罗系-三叠系地层,约为研究区稠油总量的78.89%。储层沥青主要分布在侏罗系头屯河组及其以上地层,构造高部位在三叠系地层(T60井)也出现沥青(图3)。

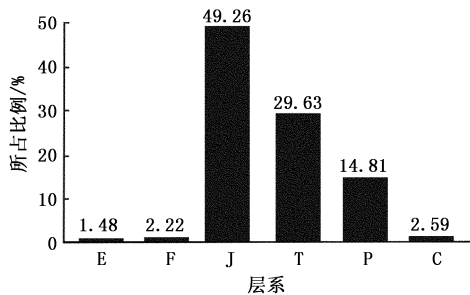


图2 稠油不同层位分布比例

Fig. 2 Viscous oil content of different formation layers

2.3 原油和储层沥青普遍遭生物降解

三台-北三台地区经历多期构造运动,构造高部位多次被剥蚀,保存条件较差,原油和储层沥青生物降解严重。

该区不同密度原油的饱和烃色谱特征明显不同^[8]:正常油和轻质油饱和烃色谱正构烷烃分布完整,保存条件较好;中质油存在轻微的生物降解,主要以散失作用为主,正构烷烃保存较为完整;中质稠油普遍遭中等生物降解,正构烷烃部分保存;重质稠油降解更为强烈,正构烷烃全部被降解。含沥青储层抽提物与重质稠油饱和烃色谱特征基本一致,也表现出严重生物降解的特征。

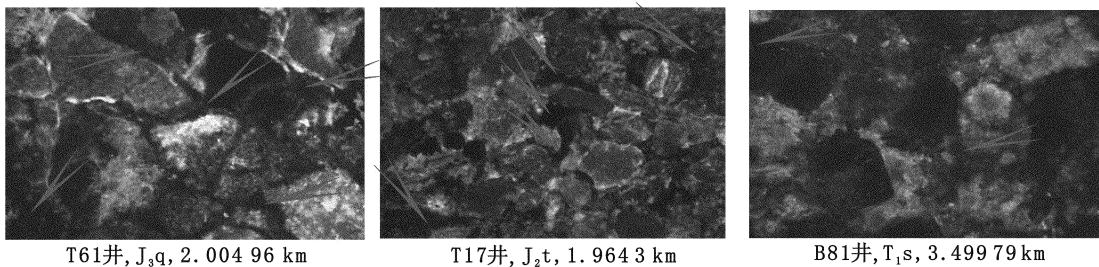


图 3 储层荧光照片

Fig. 3 Fluorescent photographs in reservoirs

3 油源分析

3.1 烃源岩特征

研究区主要发育二叠系平地泉组(P_{2p})和侏罗系(J)两套烃源岩。

二叠系平地泉组烃源岩有机质类型较好^[9],总体以Ⅰ型和Ⅱ₁型为主,有机质丰度较高,属于较好烃源岩级别。烃源岩在J₂₊₃沉积期进入生烃门限,K₁沉积早期达到成熟阶段,K₁沉积末期达到高成熟阶段。

侏罗系烃源岩有机质类型总体以Ⅲ型为主,属于典型的腐殖型烃源岩,有机质丰度较高,属于好烃源岩级别。烃源岩在侏罗纪晚期进入生烃门限,在白垩纪晚期达到生烃高峰。

3.2 油源对比

研究区原油多受严重生物降解,烃组分大量损失,对油源对比指标影响较大,但原油碳同位素特征受其影响较小。

3.2.1 全油碳同位素

全油碳同位素是油源对比常用的指标,特别是对于有机质类型差别较大的烃源岩生成的油,对比效果非常好。不同类型的有机质生成的全油碳同位素不同,类型好的有机质生成的碳同位素较轻,类型差的有机质生成的碳同位素较重,全油碳同位素对应于酪根碳同位素轻约2‰~3‰。碳同位素特征除受有机质类型影响外,还受到成熟度和次生变化的影响,随成熟度增加原油碳同位素变重,变化幅度约为2‰。

如图4所示,研究区原油根据全油碳同位素可以分为3类:

(1)第一类(A区)。全油碳同位素大于-28‰,这些样品主要是阜东斜坡的F2、F4、F5和F11井的侏罗系原油,属于典型的侏罗系来源的油,虽不属于研究区,但是均来源于阜康凹陷,与研究区原油具有很好的对比性。

(2)第二类(B区)。全油碳同位素分布在-28‰~-30‰范围内,这类井目前只有3口井,分别为B27、B34和B81井,分布在北三台凸起西斜坡区。这类油全油碳同位素轻于侏罗系来源油,但又重于二叠系平地泉组来源的油,属于混源油。

(3)第三类(C区)。全油碳同位素分布在-30‰~-32.2‰范围内,这类原油在研究区占大多数,油源主要为二叠系平地泉组。

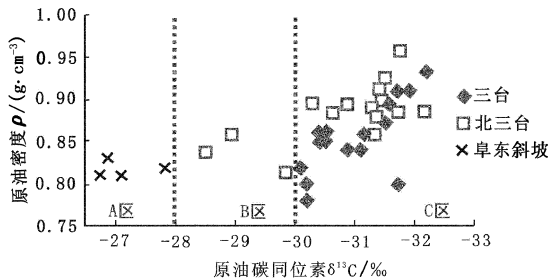


图 4 全油碳同位素分布

Fig. 4 Carbon isotopes scatter diagram of oil

3.2.2 族组分碳同位素

有机地球化学和同位素地球化学研究已经证实,石油的族组分碳同位素组成与有机体的生物化学组分之间存在着十分明显的继承关系。尽管在石油的形成过程中伴随着同位素分馏作用,但同位素组成特征依然可被继承并保存在石油中,因此根据不同族组分碳同位素组成特征可以区分不同原油的类型,追溯其形成环境。研究表明石油在运移过程中族组分的变化会导致其碳同位素含量相对减少,但这种变化幅度非常小,不会对分析结果产生太大影响。

如图5所示,B4、B7、B83、T13、B16井与B27、B34井原油族组分碳同位素曲线形态明显不同,后者明显偏重,结合烃源岩特征,认为前者原油来源于二叠系平地泉组源岩,后者来源于侏罗系源岩。

综上所述,研究区储层抽提物和原油主要来源于二叠系平地泉组,侏罗系源岩原油较少,只存在于北三台凸起西斜坡区个别井。

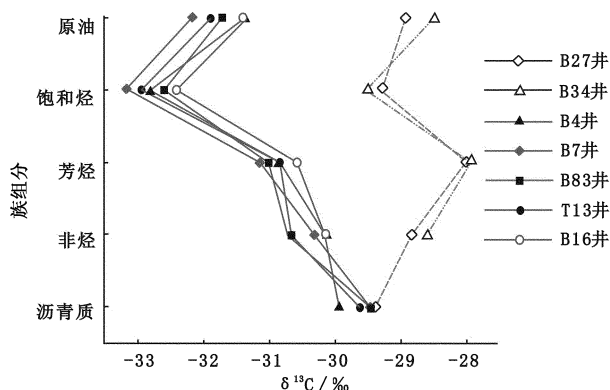


图5 原油族组成碳同位素曲线

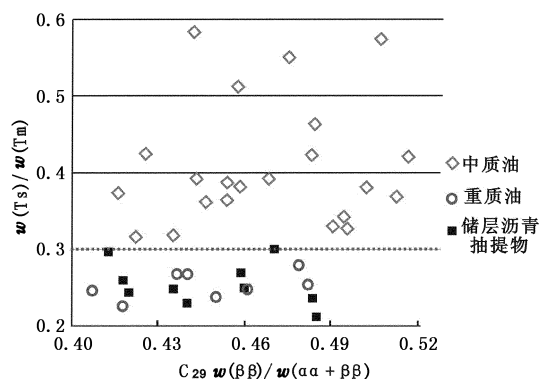
Fig. 5 Carbon isotope curves of oil group composition

4 储层沥青和稠油成因

4.1 演化阶段性

研究区稠油和储层沥青遭受严重生物降解,部分产物中出现25-降藿烷,说明其降解程度已达到6级以上^[10],此时正构烷烃、类异戊二烯烷烃已被全部降解,甾萜烷也部分被降解,判识原油成熟度的轻烃参数和甾萜烷异构化等参数已经难以适用。而油源对比表明研究区原油来源单一,主要来自二叠系平地泉组烃源岩, $w(Ts)/w(Tm)$ 判识原油成熟度敏感性较强^[11],能够适用原油成熟度判识^[8]。

根据原油和储层抽提物 $w(Ts)/w(Tm)$ 比值特征(图6),储层沥青和重质油成熟度较低, $w(Ts)/w(Tm)$ 分布在0.2~0.3,应属于二叠系平地泉组烃源岩低—未演化阶段的产物($R_o < 0.65\%$)^[8];中质油成熟度较高, $w(Ts)/w(Tm)$ 分布在0.3~0.5,应属于二叠系平地泉组烃源岩0.65%~0.9%演化阶段的产物^[8]。

图6 储层沥青和不同密度原油 $w(Ts)/w(Tm)$ 与 $C_{29} w(\beta\beta)/w(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 关系Fig. 6 Relationship between $w(Ts)/w(Tm)$ and $C_{29} w(\beta\beta)/w(\beta\beta+\alpha\alpha)$ of different density oil and reservoir bitumen

4.2 成藏过程

二叠系烃源岩在中晚侏罗世开始进入生烃门限,生成的成熟度较低的油气沿断裂和不整合面运移,进入三台-北三台凸起三叠系和中下侏罗统储层,由于当时处于燕山运动Ⅱ幕剧烈活动期,油气保存较差,大部分油气遭散失和生物降解作用形成沥青和稠油。由于沥青和稠油充填孔隙,堵塞喉道,大大降低了储层的储渗条件^[12],阻止了后期油气的充注。

早白垩世,成熟油气沿断裂运移,并沿不整合面或顺层进入三台-北三台凸起高部位晚侏罗统和白垩系储层,三叠系和中下侏罗统部分沥青堵塞不是很严重的储层也得到该期油气补充,该期油主要分布在颗粒边缘或未被沥青充填的溶蚀孔中。油气进入储层后因保存条件较差,部分发生中等生物降解和散失作用形成中质油。

5 研究区勘探前景

5.1 生烃高峰期产物未受严重破坏

资源量是油气勘探的物质基础,源岩生烃高峰期产物是油气资源的主体部分。研究区原油主要来源于二叠系平地泉组源岩,有机质类型主要以I型和Ⅱ₁型为主。按照生烃理论,偏腐泥型有机质在 R_o 为0.65%~1.3%处于生烃高峰期^[13],该期产物(成熟原油)也是油气勘探的主要目标(图7)。如果这期产物遭到破坏,将使该地区失去勘探的物质基础。

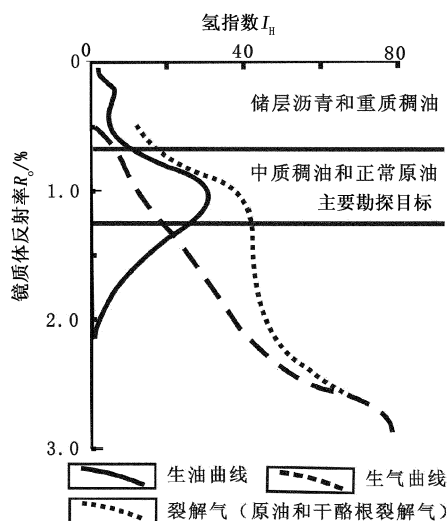


图7 腐泥型有机质生烃曲线

Fig. 7 Hydrocarbon generation curve of sapropelic organic matters

分析认为,研究区稠油绝大部分为重质稠油,且主要为低—未成熟阶段产物遭强烈生物降解和散失的结果,只有少部分是成熟阶段原油遭中等生物降

解和散失形成的。因此,研究区大规模存在的储层沥青和稠油主体并不是成熟原油油藏遭破坏的结果,生烃高峰期产物没有遭受大规模的破坏(图7),依然具有较好的勘探前景。

5.2 有利勘探方向

中晚侏罗世,来自二叠系平地泉组的低演化阶段的产物成藏后受严重破坏形成稠油和储层沥青,这些沥青和稠油对储层物性有重大影响,它类似于充填在储层孔隙及裂缝中的填隙物一样,可使储层孔渗降低,并且可改变后期油气聚集规律^[12]。

5.2.1 中细砂岩分布带

研究表明,三台-北三台地区二叠系源岩早期生成的演化程度较低的油,主要进入孔渗较好、排替压力较低的粗砂岩中^[12],后遭破坏形成高密度的稠油和储层沥青,因此该区井位部署时应找沥青较少的中细砂岩分布带,该分布带更易富集后期成熟和高成熟油气。

5.2.2 构造下倾部位

三台-北三台地区储层沥青和稠油分布层位多,从石炭系到白垩系均有出现,但主要出现在构造高部位不整合面和地层尖灭线附近,层位上主要分布在侏罗系齐古组、头屯河组和三叠系克拉玛依组。这些稠油和储层沥青黏度大,流动性较弱,可严重堵塞孔喉,与孔渗较差的储层可形成遮挡带,在构造下倾部位形成沥青-岩性圈闭,后期成熟或高成熟阶段产物可聚集成藏。从不同密度原油分布来看,稠油和储层沥青分布对原油聚集成藏具有明显的控制作用。该地区轻质油呈“裙带状”分布在构造凸起向凹陷延伸的斜坡区,这说明大量分布的沥青堵塞孔喉,在斜坡区形成沥青封堵带,后期密度较小的原油可在斜坡区下倾方向聚集成藏。

6 结 论

(1)研究区储层沥青和稠油分布广泛,稠油占探明储量的54%,主要分布在侏罗系-三叠系储层,且均遭生物降解,中质稠油遭中等生物降解,重质稠油遭强烈生物降解。储层沥青主要分布在侏罗系头屯河组及其以上地层,也遭受严重生物降解。

(2)原油主要来源于二叠系平地泉组源岩,符合 $w(T_s)/w(T_m)$ 判识原油成因的同源条件,重质稠油为低—未成熟产物,中质稠油为成熟阶段产物。

(3)生烃高峰期油气没有遭到大规模破坏,改变了前人提出的稠油是成熟油经过多期调整和破坏的认识,大大增强了研究区的勘探信心。

(4)稠油和储层沥青可严重堵塞孔喉,改变后期油气富集规律,下步勘探应以中细砂岩分布带和构造下倾部位储层为主要目标。

参考文献:

- [1] BLANC P, CONNAN J. Origin and occurrence of 25-norhopanes; a statistical study[J]. *Org Geochem*, 1992, 18(6):813-828.
- [2] 张敏, 张俊. 水洗作用对油藏中烃类组成的影响[J]. *地球化学*, 2000, 29(3):287-292.
ZHANG Min, ZHANG Jun. Effect of water washing on hydrocarbon compositions of petroleum sandstone reservoir in Tarim Basin, NW China [J]. *Geochimica*, 2000, 29(3):287-292.
- [3] 李建新, 杨斌, 何丽箐, 等. 准噶尔盆地西北缘稠油成因和早期成烃机制的探讨[J]. *新疆石油地质*, 1993, 14(3):239-249.
LI Jian-xin, YANG Bin, HE Li-jing, et al. Heavy oil genesis and early hydrocarbon generation mechanism research in the southwest of Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1993, 14(3):239-249.
- [4] LAFARGUE E, THIEZ P L. Effect of water washing on light ends compositional heterogeneity [J]. *Org Geochem*, 1996, 24(12):1141-1150.
- [5] 王顺玉, 戴鸿明, 王廷栋. 气侵对油气分布规律的影响[J]. *天然气工业*, 1998, 18(5):91-93.
WANG Shun-yu, DAI Hong-ming, WANG Ting-dong. The impact of gas cutting on oil-gas distribution [J]. *Natural Gas Industry*, 1998, 18(5):91-93.
- [6] KUO Lung-chuan. An experimental study of crude oil alteration in reservoir rocks by water washing [J]. *Org Geochem*, 1994, 21(5):465-479.
- [7] 袁莉, 包建平. 生物降解作用对原油中烷基萘分布与组成特征的影响[J]. *石油实验地质*, 2009, 31(5):512-515.
YUAN Li, BAO Jian-ping. The effect of biodegradation on the distribution and composition of alkylnaphthalene series in biogradated crude oils [J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2009, 31(5):512-515.
- [8] 路俊刚, 陈世加, 王绪龙, 等. 严重生物降解稠油成熟度判识:以准噶尔盆地三台-北三台地区为例[J]. *石油实验地质*, 2010, 32(4):373-375.
LU Jun-gang, CHEN Shi-jia, WANG Xu-long, et al. Maturity study of the strong biodegradation viscous oil: taking the Santai-Beisantai area of Junggar Basin as example [J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2010, 32(4):373-375.