

西藏地区伦坡拉盆地牛堡组原油稠化地质成因

李宇平, 范小军

(中国石化勘探分公司, 四川 成都 610041)

摘要: 伦坡拉盆地是西藏地区惟一发现工业油流的古近系陆相残留盆地。早期勘探已揭示, 油藏埋藏深度超过1 500 m为稀油, 然而新完钻的W1井在1 800 m钻遇的原油仍偏稠, 可见该盆地原油纵向分带性复杂。为明确原油稠化地质成因及有利稀油富集带, 采用地质与物探相结合的分析手段, 对原油性质、原油分布规律、原油稠化地质成因等方面进行综合研究。结果表明, 该盆地古近系牛堡组原油稠化主要受次生改造作用控制, 并非低熟油所致; W1井油藏位于牛堡组顶部不整合面以下800 m油气氧化界面以内, 由于该井位于盆地中央凹陷带中部断裂带, 构造解释和岩心观察均显示断裂及高陡裂缝发育, 导致原油轻组分散失, 故油质偏稠, 从而明确了该盆地原油纵向分带性。

关键词: 稠化地质成因 次生改造作用 油气氧化界面 稀油富集带 牛堡组 伦坡拉盆地

中图分类号: TE124.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2015)06-0032-04

Geological origin of crude oil thickening in the reservoir of Niubao Formation in Lunpola basin, Tibet

Li Yuping, Fan Xiaojun

(Branch of Exploration Company, SINOPEC, Chengdu City, Sichuan Province, 610041, China)

Abstract: Lunpola basin is a Paleogene continental residual one and the only basin in Tibet with industrial oil discovery. Early exploration revealed that the thin oil distributed in the reservoirs with their buried depth more than 1 500 m. However, the crude oil in new Well W1 at the depth of 1 800 m is still heavy, which indicates the complicated vertical zoning of crude oil in this basin. In order to clarify the geological origin of crude oil thickening and the favorable thin oil-enriched zone, physical properties, distribution rule and geological factors of crude oil thickening were studied comprehensively based on geological and geophysical data. The results show that the crude oil thickening in reservoirs of the Niubao Formation in Lunpola basin was mainly controlled by secondary alteration instead of low-mature oil. The reservoir of Well W1 locates under the oil-gas oxygenation level, which is 800 m below the unconformity surface. Structural interpretation and core observation show that the fractures and high-steep cracks of Well W1 are widely developed, for it locates in central fault region of central depression zone of the basin. This can lead to the loss of light components of the crude oil, so it is easy to be thickened. Thus the vertical zoning of the crude oil is clear.

Key words: geological origin of crude oil thickening; secondary alteration; oil-gas oxygenation level; thin oil-enriched zone; Niubao Formation; Lunpola basin

伦坡拉盆地是西藏地区惟一发现工业油流的古近系陆相残留盆地, 稠油主要分布在埋藏小于1 500 m的范围, 稀油主要分布在埋藏超过1 500 m的范围, 然而新完钻的W1井在古近系牛堡组三段下亚段1 800 m钻遇的原油仍偏稠, 可见该盆地原

油纵向分带性复杂, 为明确原油稠化地质成因及有利稀油富集带, 在梳理前人对伦坡拉盆地原油纵向分带性认识的基础上, 对原油性质、原油纵向分布规律、原油稠化地质成因等方面进行综合研究, 提出该盆地原油稠化地质成因新认识, 明确稀油富集

收稿日期: 2015-09-05。

作者简介: 李宇平(1969—), 男, 湖北应城人, 高级工程师, 博士, 从事石油地质综合研究工作。联系电话: 13668148004, E-mail: liyp.kt-nf@sinopec.com。

基金项目: 国土资源部油气中心和中国石化战略合作项目“伦坡拉盆地油气资源选区调查”(1211302108021-1)。

带,指出该盆地地下步勘探方向。

1 区域地质概况

西藏地区矿产资源丰富^[1],伦坡拉盆地位于青藏高原中部,海拔超过4 600 m,勘探面积约为3 600 km²,构造上属于北部羌塘地块与南部拉萨地块的结合地带,沿班公湖—怒江缝合带东西向展布^[2-4](图1),其基底定型于始新世以前,先后经历过古近纪始新世牛堡组沉积时期断陷期与渐新世丁青湖组沉积时期拗陷期^[5-7],发育多套烃源岩^[8-10]。

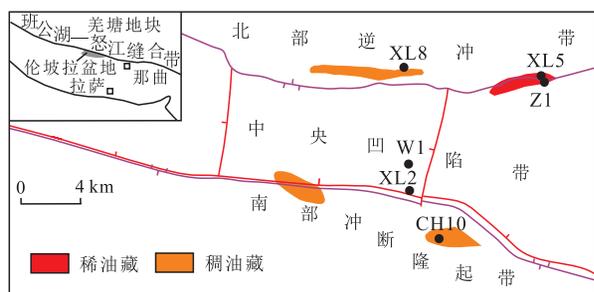


图1 伦坡拉盆地构造位置

Fig.1 Structural position of Lunpola basin, Tibet

2 原油性质

伦坡拉盆地多口老井及新完钻的W1井原油物性资料分析表明,地层原油密度为0.875 5~0.961 8 g/cm³,原油运动粘度为47.39~22 727.65 mm²/s,原油凝固点为-4~45.1℃。根据陆相烃源岩地球化学评价方法SY/T 5735—1995标准,除Z1井、XL5井牛堡组三段下亚段及以下层位的原油为稀油外,其余各井原油均较稠,新完钻的W1井牛堡组三段下亚段原油为中质中凝油,油质偏稠。

陆相原油的含蜡量普遍高于5%,一般为15%~30%。根据含硫量,可将陆相原油划分为低硫原油(小于0.5%)、含硫原油(0.6%~2%)和高硫原油(2.1%~6.0%)3种类型^[11]。Z1井原油含蜡量为8.31%~13.86%,含硫量为0.31%~0.41%,表现出高蜡低硫的特征;HX5井原油含蜡量为5.52%,含硫量为2.24%,为低蜡高硫原油;W1井为低蜡原油,含蜡量仅为2.17%。基本具有随着深度增大,原油含蜡量增加,含硫量降低的规律。

3 原油分布规律及油源

原油分布规律 早期勘探及研究已揭示,伦坡

拉盆地古近系油藏平面上主要集中分布在盆地南北部的构造圈闭中,横向分区特征明显,纵向上也具有明显的分带性^[12]。中浅层(1 500 m以上)以低蜡高硫的稠油、重质油为主,中深层(1 500 m以下)主要为高蜡低硫的稀油。W1井在古近系牛堡组钻遇的储层有丰富的油气显示,进一步证实了盆地中央凹陷带含油气情况较好,但牛堡组三段下亚段1 800 m埋深处钻遇的原油密度达0.925 g/cm³,属于偏稠原油,使得该盆地原油纵向分带复杂化。

油源 前人研究结果表明^[12-13],牛堡组二段原油为自生自储;牛堡组三段原油主要来源于牛堡组三段的生油岩,少部分来源于牛堡组二段的生油岩,为混合成因。而牛堡组二段的原油在牛堡组沉积末期才进入成熟早期阶段,故原油成熟度不高。利用W1井资料,将新、老钻井的原油与生油岩的指纹特征、饱和烃碳数分布特征进行对比,明确了原油与生油岩之间存在亲缘关系,W1井的原油与老井的原油具有相似的指纹特征,说明原油来源相似。

4 原油稠化地质成因

W1井在牛堡组三段下亚段(1 800 m)钻遇的原油仍偏稠,这与早期对该盆地原油纵向分带性的认识不同。前人研究认为^[11-12,14-15],一般在水洗、氧化、生物降解等冷变质作用下原油容易稠化,但发生冷变质作用有明确的深度界限,在氧化界面以上往往以稠油、重质油为主,界面以下则主要为稀油、轻质油,该界面称之为油气氧化界面。W1井牛堡组三段下亚段(1 800 m)原油偏稠的认识,目前有2种观点:①因为原油是低熟油,所以油质偏稠。该盆地原油中有机质的奇偶碳比值为0.91,甲基菲指数折算的原油镜质组反射率为0.7%,认为原油达到成熟早期阶段,根据前人研究成果^[16-18],烃源岩中高含量的可溶有机质是未熟—低熟油形成的重要条件,如泌阳凹陷核三段和核二段未熟—低熟烃源岩的烃转化率多大于50%,而伦坡拉盆地古近系烃源岩的烃转化率平均仅为21%,只有部分在40%以上,明显不具备低熟烃源岩的特征。另外,烃源岩干酪根镜检分析表明,干酪根显微组分基本不含树脂体、木栓质体,不具备形成低熟油的物质基础,故W1井牛堡组三段下亚段原油偏稠并非低熟油所致。②原油遭受次生改造作用后变稠。原油的组成和性质不仅取决于有机质类型和成熟度,还受控于油气运移和油气形成后的次生改造作用。由于构造运动

对伦坡拉盆地产生了次生改造作用,使原油总体具有稠油的特征。研究表明,该盆地的次生改造作用主要受不整合面、断裂及高陡裂缝等因素控制。

4.1 不整合面

从W1井牛堡组三段下亚段的原油色谱(图2)可以清楚看到,正构烷烃含量表现出低分子正构烷烃含量较高分子正构烷烃含量低,且保留不完整的特点,说明该盆地的原油遭受到了次生改造,这与不整合面的发育有关。通过测井计算W1井的地层倾角、声波时差并分析地震剖面结构特征发现,牛堡组与丁青湖组之间的地层倾角、声波时差明显不同,地震剖面上也存在超覆、剥蚀等反射特征,推测在牛堡组沉积末期曾发生过规模不大的构造运动,使两者之间产生了不整合面,盆内为平行不整合,盆缘为角度不整合,这与前人研究成果^[12-13,19]一致,不整合面的存在导致原油性质的改变。

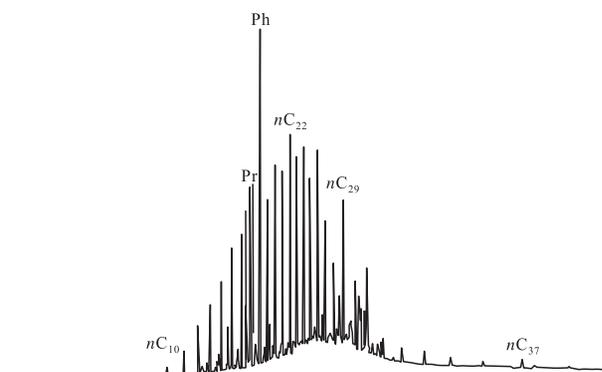


图2 W1井牛堡组三段下亚段(1 800 m)原油色谱

Fig.2 Gas chromatography of crude oil from the lower sub-member of Niu-3 member(1 800 m), Well W1

通过分析新、老井试油井段原油密度和试油井段顶部与牛堡组顶界距离之间的关系发现,Z1井牛堡组三段下亚段(1 675 m)油藏顶部与牛堡组顶界不整合面的距离大于800 m,地层原油密度为0.877 1 g/cm³,属于稀油,而W1井牛堡组三段下亚段(1 800 m)油藏顶部与不整合面的距离小于800 m,原油密度为0.925 g/cm³,油质明显偏稠(图3)。分析认为在伦坡拉盆地存在一个油气氧化界面,该界面深度约为800 m(油藏顶部与牛堡组顶界的距离),这与W1井在1 500 m以下深度(1 800 m)钻遇的原油偏稠相吻合。结合前人研究成果^[20],在地质时间尺度内明显的生物降解作用一般发生在温度低于80℃的油藏中,且降解原油的埋藏深度一般在4 000 m以上。伦坡拉盆地古、今地温梯度均为高地温梯度^[12,19,21],可达5.0℃/hm以上,油藏埋深达到800 m时,储层温度约为42℃,与实验室模拟的40℃左右生物降解作用较活跃是基本一致的^[20]。

综上所述,伦坡拉盆地牛堡组顶界不整合面以下800 m的油气氧化界面是导致原油偏稠的主要地质因素。

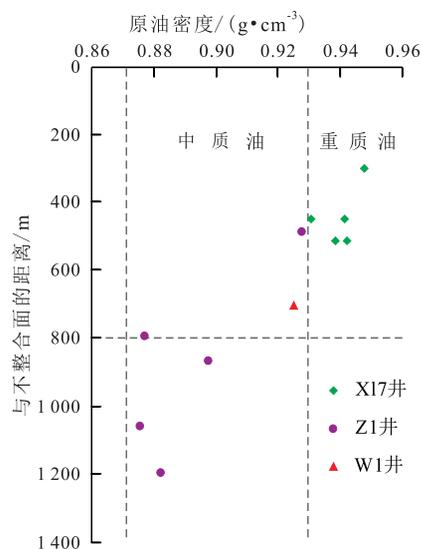


图3 原油密度与距不整合面距离的关系

Fig.3 Relationship between oil density and the distance between reservoir and unconformity surface

4.2 断裂及高陡裂缝

由于W1井位于盆地中央凹陷带中部断裂带,恰好处于走滑拉分期盆地构造转换端的位置,构造应力大,另外,从W1井牛堡组构造解释和取心岩石上均发现断裂及高陡裂缝发育,且高陡裂缝发育程度在牛堡组呈现自上而下逐渐减弱的规律,整体上牛堡组三段高陡裂缝较牛堡组二段更加发育。另外,从W1井原油色谱(图2)也可以看出,该井C₁₅之前的轻烃组分含量较低,说明轻烃组分通过断裂及高陡裂缝已有一定散失^[22-23],导致原油偏稠。断裂及高陡裂缝的发育是造成该盆地原油稠化的又一地质因素。

5 结论

伦坡拉盆地牛堡组原油稠化主要受次生改造作用控制,并非低熟油所致。该盆地古近系原油纵向分带不能简单地以1 500 m埋深划分。研究表明,古近系牛堡组与上覆丁青湖组之间存在不整合面,该不整合面以下800 m发育一个油气氧化界面,该界面以上以中质油、重质油为主,界面以下则主要为稀油。W1井油藏位于古近系牛堡组顶部以下800 m纵向油气氧化界面以内,构造上处于断裂及高陡裂缝发育的位置,所以原油遭到了氧化、生物降解等次生改造作用,导致原油偏稠,从而明确了该盆地原油纵向分带性。位于800 m油气氧化带以

下处于生油高峰期的稀油为下步主要勘探方向。

参考文献:

- [1] 杜佰伟,彭清华,谢尚克,等.西藏岗巴一定日盆地地下白垩统页岩气资源潜力[J].油气地质与采收率,2015,22(2):51-54.
Du Baiwei, Peng Qinghua, Xie Shangke, et al. Exploration potential analysis of shale gas in the Lower Cretaceous, Gamba-Tingri basin of Tibet [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(2): 51-54.
- [2] 马鹏飞,王立成,冉波.青藏高原中部新生代伦坡拉盆地沉降史分析[J].岩石学报,2013,29(3):990-1002.
Ma Pengfei, Wang Licheng, Ran Bo. Subsidence analysis of the Cenozoic Lunpola basin, central Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(3): 990-1002.
- [3] 赵建成.西藏伦坡拉盆地构造特征研究[D].成都:成都理工大学,2011:70-84.
Zhao Jiancheng. A study on the structural characters of the Lunpola basin in Tibet [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011: 70-84.
- [4] 雷清亮,付孝悦,卢亚平.伦坡拉第三纪陆相盆地油气地质特征分析[J].地球科学——中国地质大学学报,1996,21(2):168-173.
Lei Qingliang, Fu Xiaoyue, Lu Yiping. Petroleum geological features of Tertiary terrestrial Lunpola Basin, Xizang (Tibet) [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1996, 21(2): 168-173.
- [5] 宋博文,张克信,梁银平,等.青藏高原始新世构造岩相古地理[J].地质通报,2013,32(1):56-66.
Song Bowen, Zhang Kexin, Liang Yiping, et al. Eocene tectonic lithofacies paleo-geography of the Tibetan Plateau [J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(1): 56-66.
- [6] 孙涛,王成善,李亚林,等.西藏中部伦坡拉盆地古近系沉积有机质特征及意义[J].地球化学,2012,41(6):530-537.
Sun Tao, Wang Chengshan, Li Yalin, et al. Characteristics and significance of sedimentary organic matter in the Paleogene of Lunpola basin, central Tibet [J]. Geochimica, 2012, 41(6): 530-537.
- [7] 张克信,王国灿,季军良,等.青藏高原古近纪—新近纪地层分区与序列及其对隆升的响应[J].中国科学:地球科学,2010,40(12):1271-1294.
Zhang Kexin, Wang Guocan, Ji Junliang, et al. Paleogene-Neogene stratigraphic realm and sedimentary sequence of the Qinghai-Tibet Plateau and their response to uplift of the plateau [J]. Science China: Earth Science, 2010, 40(12): 1271-1294.
- [8] 顾忆,邵志兵,叶德燎,等.西藏伦坡拉盆地烃源岩特征及资源条件[J].石油实验地质,1999,21(4):341-345.
Gu Yi, Shao Zhibing, Ye Deliao, et al. Characteristics of source rocks and resource prospect in the Lunpola Basin, Tibet [J]. Experimental Petroleum Geology, 1999, 21(4): 341-345.
- [9] 易立,李亚林,王成善,等.西藏乌郁盆地烃源岩有机地球化学特征研究[J].石油实验地质,2013,35(6):676-682.
Yi Li, Li Yalin, Wang Chengshan, et al. Organic geochemical characteristics of source rocks in Wuyu Basin, Tibet [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(6): 676-682.
- [10] 徐思煌,梅廉夫,邓四新.西藏伦坡拉盆地烃源岩生、排烃史模拟[J].地球科学——中国地质大学学报,1996,21(2):179-183.
Xu Sihuang, Mei Lianfu, Deng Sixin. Simulation of hydrocarbon generation and expulsion history in Lunpola Basin of Xizang (Tibet) [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1996, 21(2): 179-183.
- [11] 付孝悦,张修富.青藏高原石油地质[M].北京:石油工业出版社,2005:108-166.
Fu Xiaoyue, Zhang Xiufu. Petroleum geology of Tibet Plateau [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005: 108-166.
- [12] 付孝悦,卢亚平,肖秋苟.含油气盆地油气氧化界面与保存条件纵向分带性讨论——以西藏伦坡拉陆相第三系盆地为例[J].石油实验地质,2003,25(6):773-776.
Fu Xiaoyue, Lu Yaping, Xiao Qiugou. Discussion on the vertical characteristics of oil-gas oxygenation level and its preservation condition in petroleum basin—a case study on the continental Tertiary basin in Lunpola, Tibet [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(6): 773-776.
- [13] 张克银,牟泽辉,朱宏权,等.西藏伦坡拉盆地成藏动力学系统分析[J].新疆石油地质,2000,21(2):93-96.
Zhang Keyin, Mu Zehui, Zhu Hongquan, et al. Analysis of the dynamic system for forming reservoirs in Lunpola Basin (Tibet) [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(2): 93-96.
- [14] 胡守志,张冬梅,唐静,等.稠油成因研究综述[J].地质科技情报,2009,28(2):94-97.
Hu Shouzhi, Zhang Dongmei, Tang Jing, et al. Review of the genesis of heavy oil [J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(2): 94-97.
- [15] 国朋飞,何生,朱书奎,等.利用三环萜烷对比泌阳凹陷生物降解油源[J].石油实验地质,2015,37(1):80-87.
Guo Pengfei, He Sheng, Zhu Shukui, et al. Application of tricyclic terpanes in biodegraded oil—source correlation in Biyang Sag [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(1): 80-87.
- [16] 王铁冠,钟宁宁,候读杰,等.中国低熟油的几种成因机制[J].沉积学报,1997,15(2):75-83.
Wang Tieguan, Zhong Ningning, Huo Duujie, et al. Several genetic mechanisms of immature crude oils in China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(2): 75-83.
- [17] 卢双舫,刘晓艳,付晓泰,等.未熟—低熟油生成机理的化动力学研究及其初步应用[J].沉积学报,2001,19(1):130-134.
Lu Shuangfang, Liu Xiaoyan, Fu Xiaotai, et al. Chemical kinetics study on the generation mechanism of immature to low-mature oil and its initial application [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(1): 130-134.

(下转第46页)