

doi: 10.13745/j.esf.2016.05.013

# 柴达木盆地德令哈地区下古生界成藏地质条件研究

刘文平<sup>1,2</sup>, 刘成林<sup>3,\*</sup>, 万茂霞<sup>1,2</sup>, 马寅生<sup>3</sup>, 李 农<sup>1,4</sup>, 孔令明<sup>1,2</sup>, 邓晓航<sup>1</sup>, 刘 佳<sup>1</sup>

1. 中国石油西南油气田分公司 勘探开发研究院, 四川 成都 610046
2. 中国石油天然气集团公司 碳酸盐岩天然气成藏机理重点研究室, 四川 成都 610046
3. 中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081
4. 页岩气评价与开采四川省重点实验室, 四川 成都 610213

LIU Wenping<sup>1,2</sup>, LIU Chenglin<sup>3,\*</sup>, WAN Maoxia<sup>1,2</sup>, MA Yinsheng<sup>3</sup>, LI Nong<sup>1,4</sup>,  
KONG Lingming<sup>1,2</sup>, DENG Xiaohang<sup>1</sup>, LIU Jia<sup>1</sup>

1. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company, Chengdu 610046, China
2. Key Laboratory of Carbonate Gas Accumulation, China National Petroleum Corporation, Chengdu 610046, China
3. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China
4. Key Laboratory of Shale Gas Evaluation and Exploitation of Sichuan Province, Chengdu 610213, China

**LIU Wenping, LIU Chenglin, WAN Maoxia, et al. A study of the Lower Paleozoic accumulation condition in Delingha region in Qaidam Basin. *Earth Science Frontiers*, 2016, 23(5): 119-126**

**Abstract:** Delingha region is located in the northeastern of Qaidam Basin, where oil and gas exploration and research level is low. Based on field geological investigation drilling and seismic interpretation, this paper analyzes Lower Paleozoic petroleum accumulation conditions, including source rock, reservoir-caprock conditions, source-reservoir-caprock combination and transporting condition. According to the structural conditions and surrounding discoveries, we have defined the Lower Paleozoic petroleum systems in the research area. In Delingha region, there are two sets of source rocks, including Sinian Quanjia Group mudstone formed in coastal tidal flat facies and Ordovician Shihuigou Formation shale formed in shallow-bathyal facies. 46% of Sinian source rocks achieved effective source rocks standards, with the average TOC of 0.72%, and 38% of Ordovician source rocks achieved effective source rocks standards, with the average TOC of 0.77%. Organic matter types mainly belong to type I. Thermal evolution has entered into the high and over mature stages. There are clastic and carbonate reservoirs in the study area, whose dominant reservoir facies are delta front and platform margin reef, while carbonate reservoir space are mainly made up of fractures and solution pores. Based on the analysis of source rock characteristic and surrounding discoveries, Delingha region is divided into Z- $\epsilon$ (?) and O-O(?) suppositional petroleum systems.

**Key words:** petroleum systems; reservoir conditions; source rock conditions; Delingha region

**摘 要:** 德令哈地区位于柴达木盆地东北部, 油气勘探和研究程度较低。文章在野外地质调查基础上, 结合钻井和地震资料解释成果, 主要开展下古生界烃源岩、储盖层、储盖组合和输导条件等成藏条件研究, 根据构造条件和周边油气发现, 对研究区下古生界含油气系统进行推测。研究结果表明, 德令哈地区下古生界发育两套烃源岩, 即震旦系全吉群红藻山组滨岸潮坪相灰黑色—黑色泥页岩, 奥陶系石灰沟组浅海—半深海相灰黑色—黑色泥页岩。其中, 震旦系烃源岩 46% 达到有效烃源岩标准, 有效烃源岩有机质丰度平均为 0.72%, 奥陶系烃源岩 38% 达到有效烃源岩标准, 且分布于石灰沟组底部, 有效烃源岩有机质平均为 0.77%; 两套烃源岩有机质类型以 I 型为主, 热演化程度已进入高成熟—过成熟阶段。研究区发育碎屑岩和碳酸盐岩两类储层, 三角洲前缘和台缘礁滩相是优势储集相, 碳酸盐岩储层的储集空间主要为裂缝和溶蚀孔隙。根据烃源岩特征

收稿日期: 2015-10-18; 修回日期: 2016-01-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(41272159, 41572099); 中国地质调查局地质调查项目(1212011120964)

作者简介: 刘文平(1987—), 男, 硕士, 工程师, 矿产普查与勘探专业。E-mail: liuwenping1987@126.com

\* 通讯作者简介: 刘成林(1970—), 男, 教授, 博士生导师。E-mail: lclzgx@126.com

和周边油气发现,将研究区划分为推测的 Z-Є(?)油气系统和 O-O(?)油气系统。

关键词:含油气系统;储层条件;烃源岩条件;德令哈地区

中图分类号:P618.130.2 文献标志码:A 文章编号:1005-2321(2016)05-0119-08

德令哈地区位于柴达木盆地东北部,西起锡铁山,东至牦牛山、沙利克山,北接宗务隆山,南至埃姆尼克山东南部<sup>[1]</sup>。研究区在构造上属于欧龙布鲁克古陆块的主体部分,构造演化十分复杂<sup>[2-3]</sup>,主要经历了6个构造旋回阶段:古元古代结晶基底形成阶段、中一新元古代开合旋回阶段、南华纪—中泥盆世开合旋回阶段、晚泥盆世—三叠纪开合旋回阶段、侏罗纪—始新世构造旋回阶段和渐新世—第四纪构造旋回阶段<sup>[4-6]</sup>。德令哈地区下古生界地层出露较全,前人对该地区中生界和上古生界烃源岩进行了大量研究<sup>[7-13]</sup>,确定了侏罗系和石炭系发育良好烃源岩,基本明确研究区内主要发育侏罗系<sup>[8,10]</sup>和石炭系含油气系统<sup>[14-15]</sup>,但对下古生界成藏条件的研究较少。本文在分析研究区烃源岩、储盖层、生储盖组合等条件下综合分析下古生界成藏地质条件,首次证实了研究区下古生界存在有效烃源岩,首次对研究区断层输导有效性进行研究,明确优势运移通道及开启时间,并结合周边地质条件和油气显示情况,首次对德令哈地区下古生界含油气系统进行推测。

1 烃源岩发育特征

1.1 烃源岩类型及发育特征

柴达木盆地德令哈地区烃源岩发育<sup>[16-19]</sup>,通过野外地质勘查发现下古生界存在两套泥质烃源岩,主要岩性为暗色泥岩和碳质泥岩两种类型,主要分

布于震旦系全吉群红藻山组(Zq<sup>h</sup>),奥陶系石灰沟组(O<sub>1</sub>s)。其中,震旦系全吉群红藻山组滨岸潮坪相暗色泥岩主要分布于欧龙布鲁克山地区,厚度最大可达200 m(图1a)。奥陶系石灰沟组深海—半深海的暗色泥岩主要分布于红山—欧龙布鲁克山—德令哈一带,以大煤沟和怀头他拉为沉积中心,厚度最大可达300 m(图1b)。

1.2 烃源岩地球化学特征

通过野外地质调查和岩心观测,采集烃源岩样品48件。根据有效烃源岩划分标准<sup>[14]</sup>,其中,震旦系烃源岩46%达到有效烃源岩标准,有效烃源岩有机质平均为0.72%,奥陶系烃源岩38%达到有效烃源岩标准,且分布于石灰沟组底部,有效烃源岩有机质平均为0.77%。奥陶系烃源岩有机碳含量大部分低于0.4%,最大值为1.5%,平均0.4%。震旦系和奥陶系烃源岩干酪根碳同位素大部分为Ⅰ型,极少为Ⅱ<sub>1</sub>型和Ⅱ<sub>2</sub>型。震旦系全吉群红藻山组和奥陶系石灰沟组烃源岩样品R<sub>o</sub>值介于1.70%~2.85%,其有机质热演化程度大部分已经进入过成熟阶段,少数样品在高成熟阶段(表1)。

2 储集层及盖层发育特征

2.1 储层发育层位及岩相特征

研究区储集条件较好<sup>[20-22]</sup>,下古生界储层较为发育,主要为碳酸盐岩,其次为碎屑岩。德令哈地区

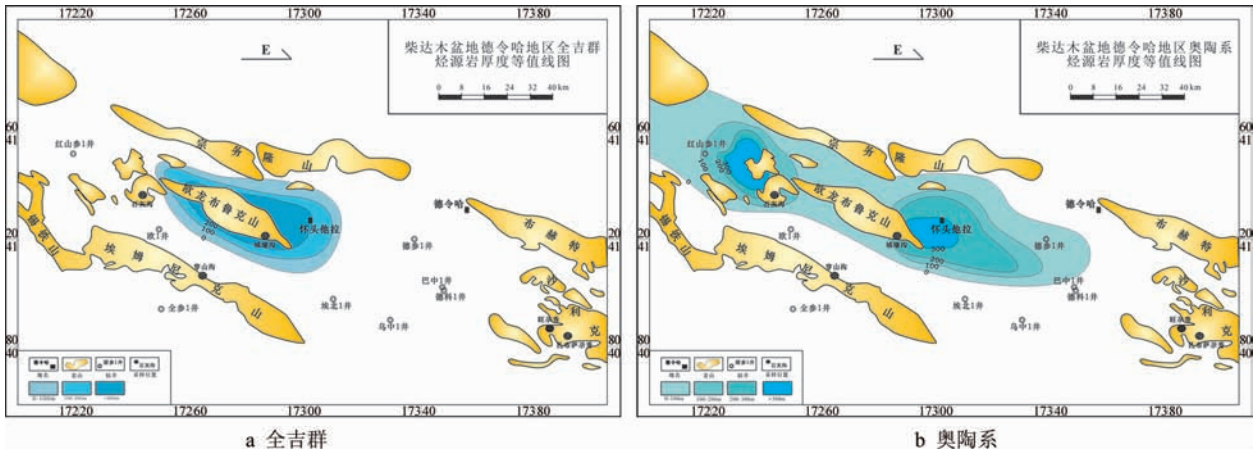


图1 德令哈地区下古生界烃源岩厚度分布图  
Fig.1 The thickness map of source rocks of the Lower Paleozoic in Delingha region

表 1 德令哈地区下古生界烃源岩地球化学数据统计表  
Table 1 Geochemical data of Lower Paleozoic source rocks in Dedingha region

地层岩层位性	有机碳 (TOC) 含量/%	生烃潜量 (S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> )/ (mg·g <sup>-1</sup> )	有机质碳同位素 δ <sup>13</sup> C <sub>PDB</sub> /‰	有机质成熟度 R <sub>o</sub> /%
红藻泥山组岩	0.02~1.19 0.45(24)	0.01~0.05 0.03	-33.15~-25.67 -31.37(25)	1.70~2.85 2.28(11)
石灰泥沟组岩	0.10~1.52 0.47(17)	0.02~0.40 0.08	-30.88~-25.62 -29.55(20)	1.70~2.81 2.21(19)

注:横线下数值为平均值,括号内为样品数。表内所有样品为新采集露头样品,数据由油气资源与探测国家重点实验室测试所得。

下古生界碳酸盐岩储层主要发育于上欧龙布鲁克组(Є<sub>3</sub>o)、多泉山组(O<sub>1</sub>d),岩性以生物碎屑灰岩、颗粒灰岩和白云岩为主。下古生界碎屑岩储集体主要发育于奥陶系石灰沟组,岩性以海底扇砂体为主。通过对储层物性进行分析,研究区寒武系碳酸盐岩储层的孔隙度介于0.5%~1.8%,平均1.1%,渗透率为(0.002 9~1.930 0)×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,平均仅为0.343 5×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>。根据前人的碳酸盐岩储层物性评价标准<sup>[18]</sup>,德令哈碳酸盐岩储层属于低孔低渗储层或特低孔特低渗储层。对工区内碳酸盐岩样品进行压汞实验,结果表明,部分样品的平均孔喉直径较大,主要介于15~30 μm,而孔喉直径较小的样品其排驱压力也较小,主要介于0.01~0.5 mPa(图2),与碳酸盐岩内部的裂缝和溶洞有关。通过野外调查观测,研究区内碳酸盐岩的裂缝和溶洞十分发育,并已在多套灰岩地层中发现油气显示,油气多沿裂缝和溶洞,在孔隙内部较为少见。因此,认为研究区内碳酸盐岩具有一定的储层性能,其储集空间类型以裂缝和溶洞型为主。

2.2 盖层条件

前人研究结果表明,研究区存在五套区域性盖层和四套局部性盖层<sup>[20,23]</sup>。五套区域性盖层分别

为下干柴沟组上段泥岩、下石炭统(C<sub>1</sub>)海侵体系域上部的致密碳酸盐岩、上石炭统(C<sub>2</sub>)海陆交互相泥质岩、奥陶系石灰沟组海相暗色泥岩及奥陶系多泉山组厚层致密碳酸盐岩;四套局部性盖层分别为石炭系怀头他拉组下段泥页岩、中生界侏罗系(J)暗色泥岩、上干柴沟组(N<sub>1</sub>g)湖相泥岩和下油砂山组(N<sub>1</sub>y)湖相泥岩。

3 生储盖组合特征

通过综合分析,按照空间配置关系划分,研究区下古生界主要有两种生储盖组合类型:下生上储上盖式、自生自储自盖式(图3)。

(1)下生上储上盖式。主要组合类型有以上覆奥陶系多泉山组灰岩和以全吉群烃源岩和寒武系白云岩为源储的组合。

(2)自生自储自盖式。主要组合类型有奥陶系内部黑色泥岩和细砂岩的组合。

4 输导条件

4.1 断裂输导条件

通过对柴东地区二维地震资料解释发现<sup>[9]</sup>,德令哈地区断裂十分发育,共有大小断层35条(图4),基本为逆断层,断层普遍规模大、断开层位多、活动时间长,同时具有一定的走滑特征。其中,一级断层在晚古生代以前已经发育,后期强烈的构造活动派生出大量的次级断裂。断层的延伸距离长,可达上百km,基本断开从基底到盖层的所有层位,最大断距超过5 000 m。

本文主要选择D05554测线的解释剖面的断层进行断层活动性研究,对断层的平均生长指数和平均活动速率进行分析。D05554测线方向为NE-SW

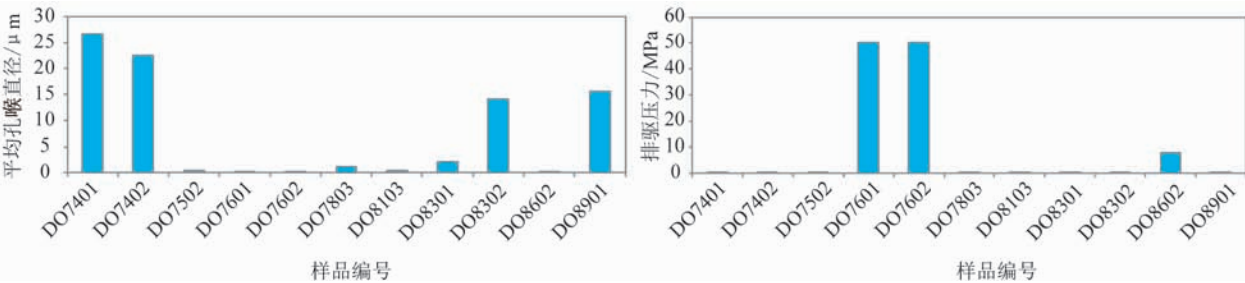


图2 德令哈地区碳酸盐岩孔喉直径和排替压力直方图  
Fig. 2 The diagrams showing the pore diameter and displacement pressure of carbonate rock in Delingha region



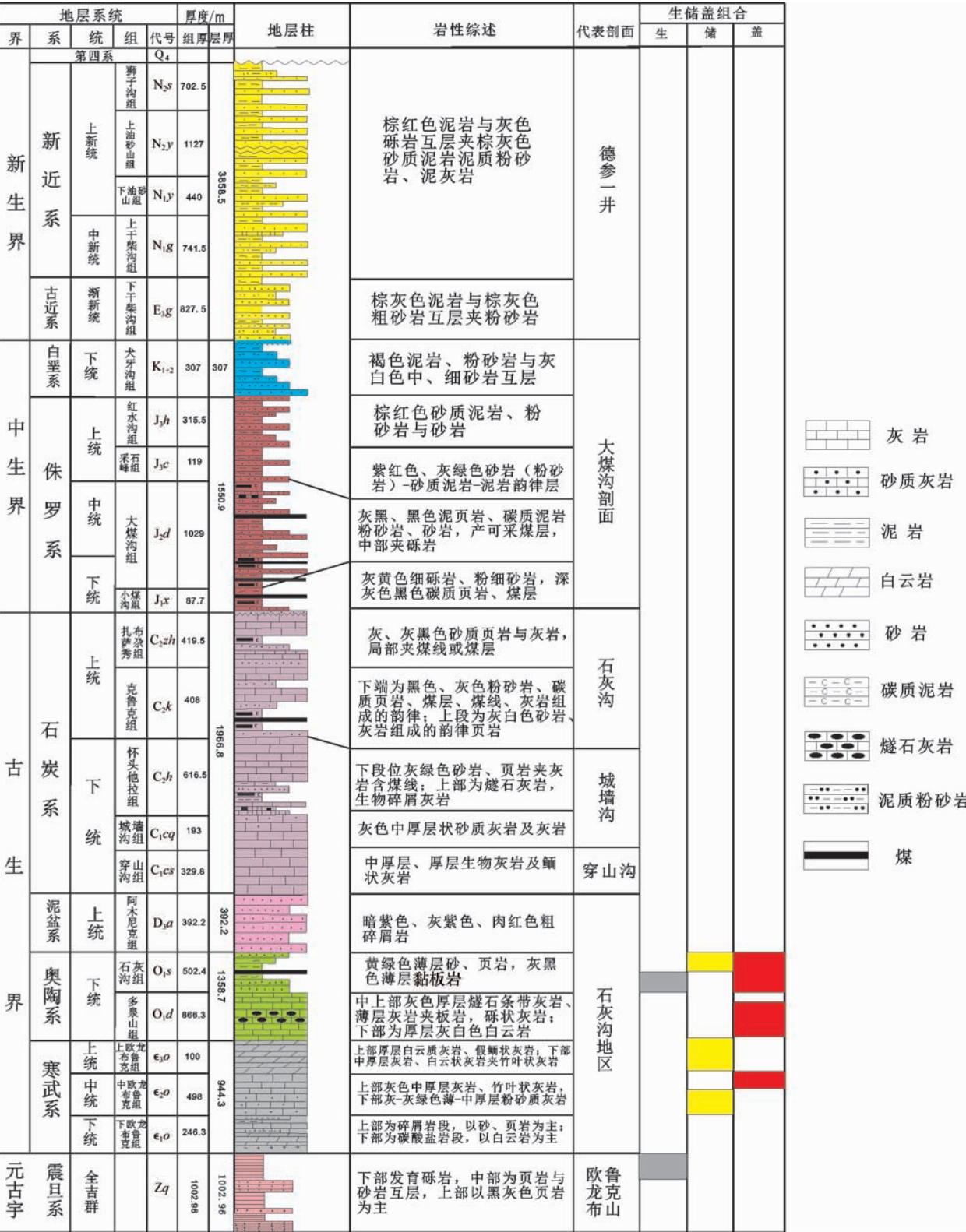


图3 柴达木盆地德令哈地区下古生界生储盖组合特征图

Fig. 3 Combination characteristics of Lower Paleozoic source-reservoir-caprock in Delingha region in Qaidam Basin

向,基本垂直于研究区断层的走向,因此,通过该测 剖面共有 12 条断层(图 5),主要对其中的 10 条进

线研究断层的活动性可靠性大。D05554 测线解释 行研究(F8、F7、F6、F39、F38、F5、F4、F1、F3、F17)。

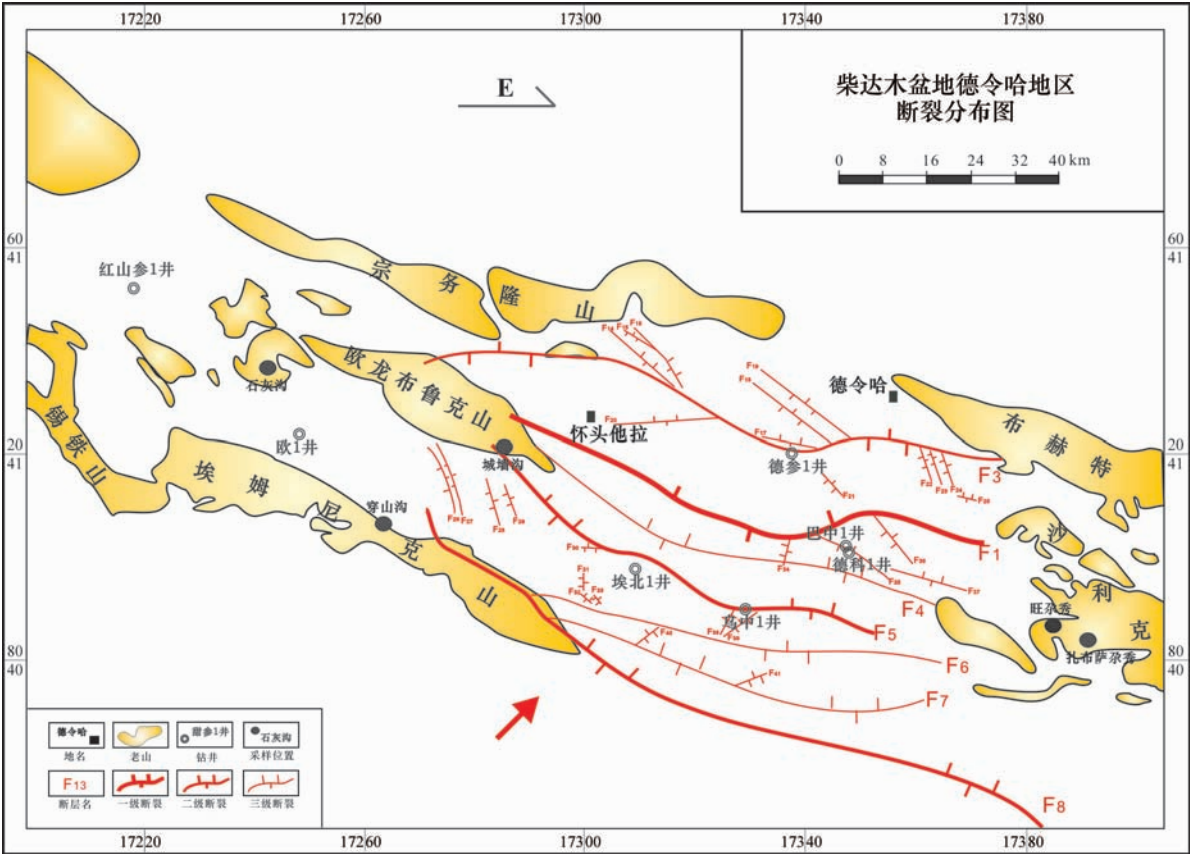


图 4 德令哈地区石炭系底界(Tc)断裂平面分布图<sup>[9]</sup>  
Fig. 4 Fracture distribution of bottom of Carboniferous in Delingha region<sup>[9]</sup>

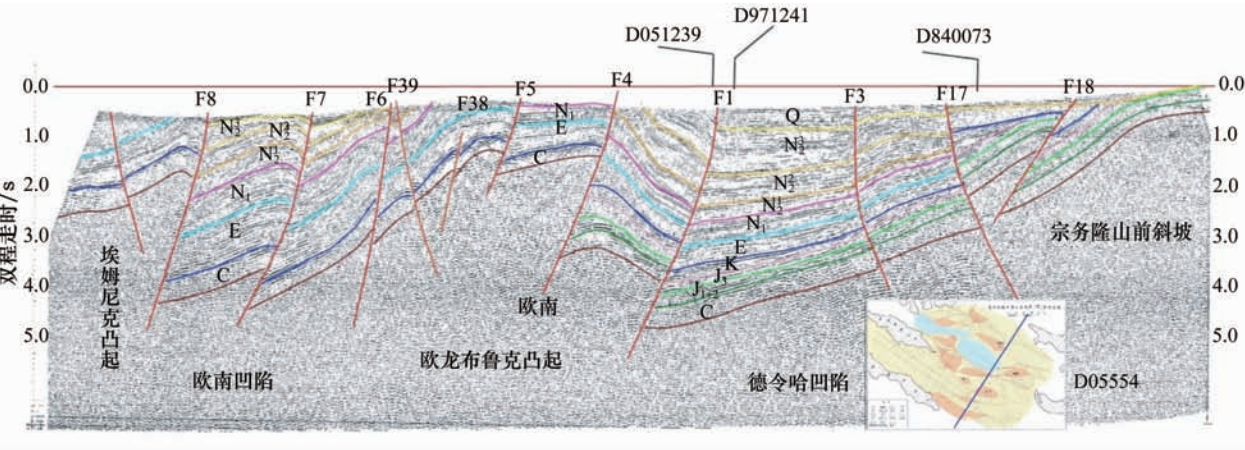


图 5 德令哈地区 D05554 测线解释剖面 and 平面位置图  
Fig. 5 The interpretation profile and position of Line D05554 in Delingha region

研究表明,区内断层均为长期活动性断层,整体为逆断层性质,在早中侏罗世和上新世早期出现不同程度的构造反转,尤其是上新世早期 AA 级强度的活动,响应了盆地在早中侏罗世的断陷阶段和上新世的坳陷阶段(图 6)。因此,德令哈地区在早中侏罗世和上新世早期两个时期,区内的开启断层是油气运移的优势通道。

**4.2 不整合面输导条件**

在德令哈地区,不整合面十分发育<sup>[5]</sup>。受加里东构造运动的影响,区内发育上寒武统与上泥盆统、下奥陶统与上泥盆统的不整合面,主要分布于石灰沟和城墙沟地区;受印支—海西构造运动的影响,区



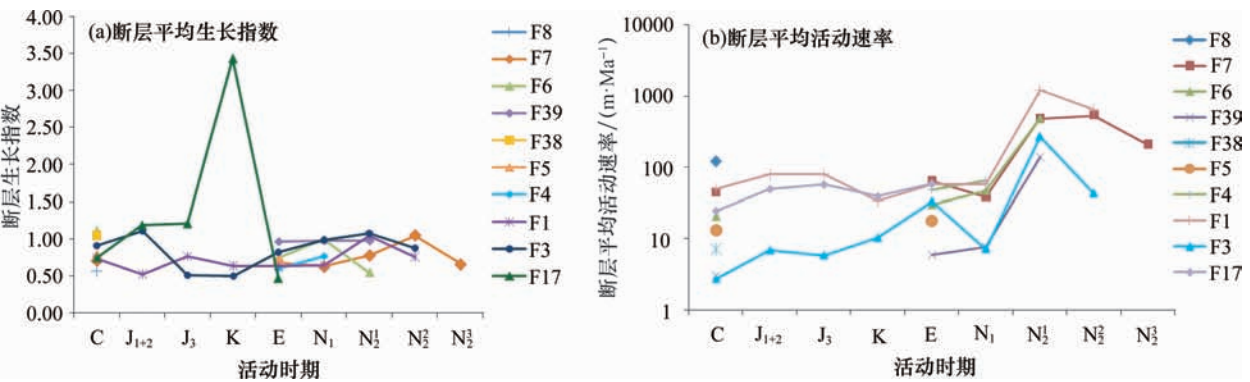


图6 德令哈地区D05554测线断层活动性图  
Fig.6 Fault activity diagram of Line D05554 in Delingha region

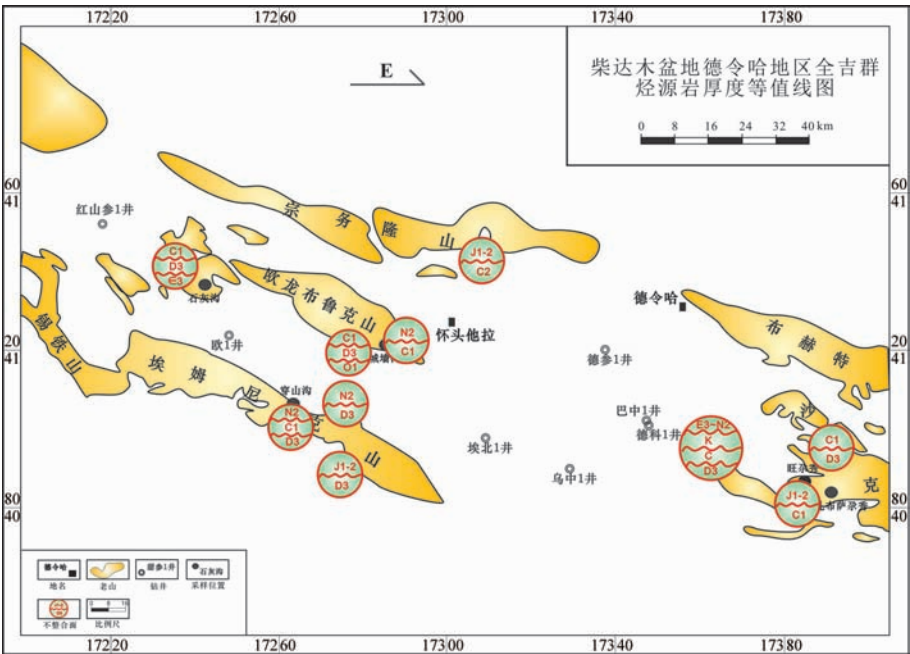


图7 德令哈地区不整合面平面分布图  
Fig.7 Distribution of unconformities in Delingha region

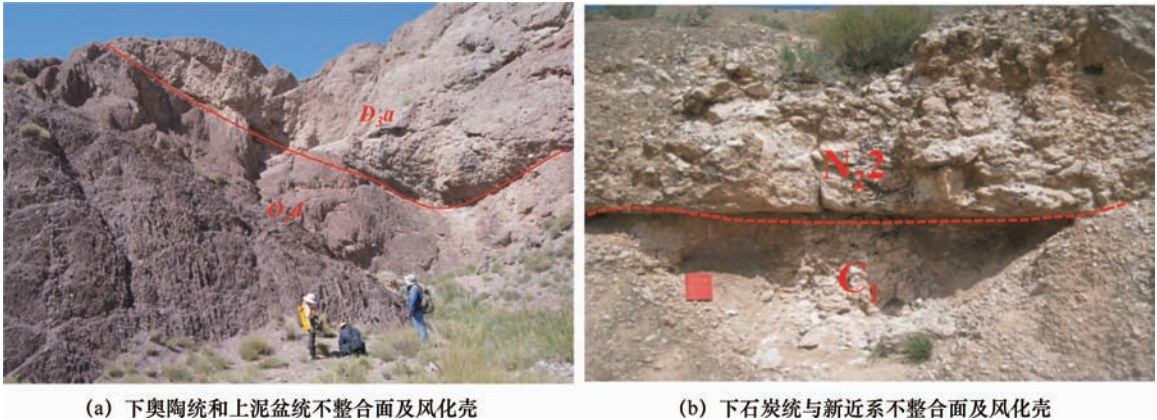
内广泛发育泥盆系与上覆地层的不整合面;受燕山运动的影响,区内发育中生界地层与下伏地层的不整合面,主要分布于柏树山、扎布萨尕秀等地区;受喜山运动的影响,区内广泛发育大量上新统和下伏中生界、古生界地层的不整合面(图7)。研究区内的不整合面上大都发育厚度0.5~5 m不等的风化壳,且在风化壳之上发育10~30 cm不等的致密铝土层(图8)。因此,区内的不整合面可以作为油气的优势运移通道。

5 下古生界含油气系统推测

从德令哈地区埋藏史图中可看出(图9),晚寒

武世末,震旦系成熟度开始进入生烃门限, $R_o$ 达到0.7%~1.0%,开始生成少量的液态烃;从早奥陶世初期开始, $R_o$ 达到1.0%~1.3%,发生大量生烃作用,从早奥陶世中期到中奥陶世,随着埋深的逐渐增大, $R_o$ 达到1.3%~2.6%,开始裂解生气;中奥陶世后, $R_o$ 达到2.6%以上,达到过成熟阶段,生排烃终止<sup>[20]</sup>。

通过野外调查工作,在柴北缘滩涧山地区和柴西芒崖石棉矿地区的奥陶系滩涧山群中发现了大量的碳沥青(图10),证明了奥陶系可能存在古油气藏。因此,根据德令哈地区下古生界成藏地质条件、埋藏史和油气发现<sup>[24-25]</sup>,将研究区下古生界划分为推测的Z-Є(?)油气系统和O-O(?)油气系统两



(a) 下奥陶统和上泥盆统不整合面及风化壳 (b) 下石炭统与新近系不整合面及风化壳

图 8 德令哈地区不整合面及风化壳

Fig. 8 Unconformities and weathering crusts in Delingha region

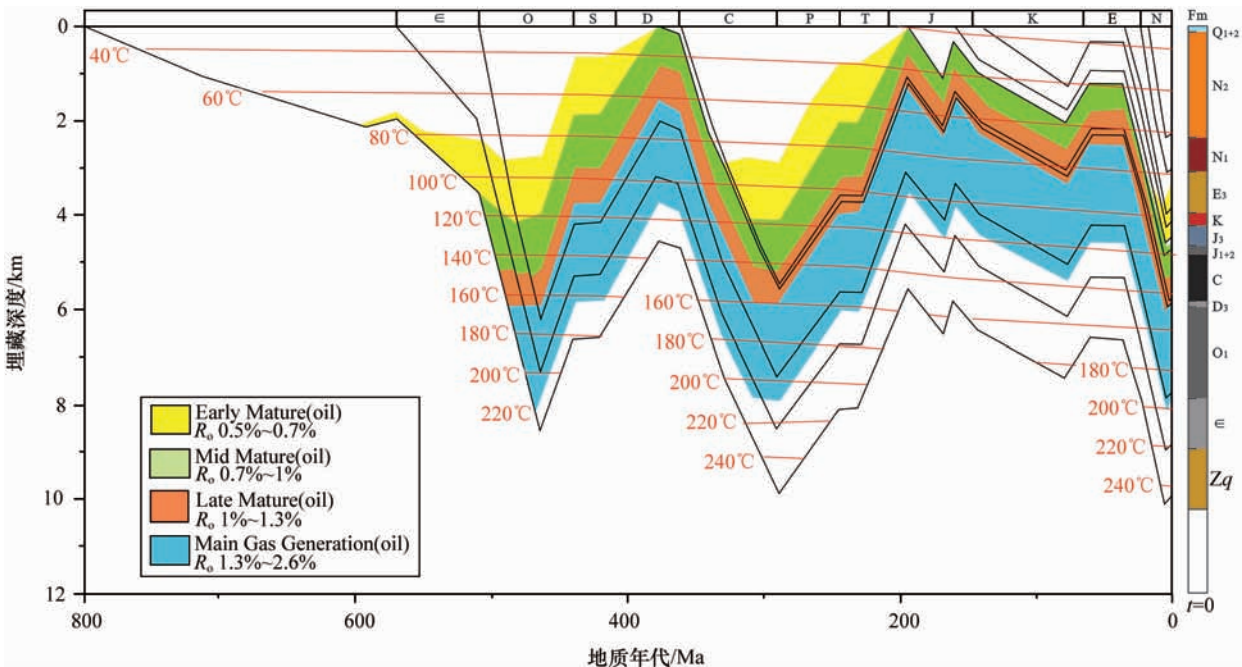


图 9 德令哈地区埋藏史曲线图

Fig. 9 The curve of burial history in Delingha region



(a) 滩润山奥陶系滩润山群碳沥青 (b) 芒崖地区奥陶系滩润山群碳沥青

图 10 柴达木盆地奥陶系滩润山群碳沥青

Fig. 10 The anthracolite of Ordovician Tanjianshan Group in Qaidam Basin

个含油气系统。

## 6 结论

(1)德令哈地区下古生界发育两套烃源岩,即震旦系全吉群红藻山组滨岸潮坪相灰黑色—黑色泥页岩,奥陶系石灰沟组浅海—半深海相灰黑色—黑色泥页岩,有效烃源岩有机质丰度在 0.7%以上,有机质类型以 I 型为主,热演化程度已进入高成熟—过成熟阶段。

(2)研究区发育碎屑岩和碳酸盐岩两类储层,三角洲前缘和台缘礁滩相是优势储集相,碳酸盐岩储层的储集空间主要为裂缝和溶蚀孔隙。

(3)研究区内断层均为长期活动性断层,整体为逆断层性质,在早中侏罗世和上新世早期出现不同程度的构造反转,尤其是上新世早期 AA 级强度的活动,响应了盆地在早中侏罗世的断陷阶段和上新世的拗陷阶段,为区内油气运移提供优势通道。受多期构造运动的影响,区内广泛发育不整合面,有利于油气运移。

(4)根据成藏地质条件、埋藏史和油气发现,研究区下古生界划分为推测的 Z-Є(?)油气系统和 O-O(?)油气系统。

衷心感谢中国地质科学院地质力学研究所李宗星老师、西北大学孙娇鹏博士在笔者行文中给予的指导,其他给予帮助的老和同门一并致谢。

## 参考文献

- [1] 陈迎宾,胡烨,王彦青. 柴达木盆地德令哈坳陷石炭系烃源岩评价[J]. 特种油气藏, 2014, 21(5): 43-47.
- [2] 汤良杰,金之钧,张明利,等. 柴达木盆地北缘构造演化与油气成藏阶段[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(2): 36-39.
- [3] 汤良杰,金之钧,张明利,等. 柴达木震旦纪—三叠纪盆地演化研究[J]. 地质科学, 1999, 34(3): 289-300.
- [4] 郝国杰,陆松年,王惠初,等. 柴达木盆地北缘前泥盆纪构造格架及欧龙布鲁克古陆块地质演化[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 115-122.
- [5] 孙娇鹏,陈世悦,胡忠亚,等. 柴达木盆地北缘前泥盆纪—碳酸盐岩混积相发育特征及组合模式研究[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(10): 1586-1593.
- [6] 陈能松,王勤燕,陈强,等. 柴达木和欧龙布鲁克陆块基底的组成和变质作用及中国中西部古大陆演化关系初探[J]. 地学前缘, 2007, 14(1): 43-53.
- [7] 方世虎,赵孟军,张水昌,等. 柴达木盆地北缘构造控藏特征与油气勘探方向[J]. 地学前缘, 2013, 20(5): 132-138.
- [8] 张敏,尹成明,陈琰. 柴达木盆地北缘含油气系统与油气勘探方向[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 143-149.
- [9] 万传治,乐幸福,陈迎宾. 柴达木盆地东部地区石炭系分布规律与生烃潜力评价[J]. 天然气地球科学, 2006, 10(17): 663-667.
- [10] 于会娟. 柴达木盆地东部地区侏罗系烃源岩地球化学特征及生烃潜力评价[J]. 沉积学报, 2000, 18(1): 132-138.
- [11] 付小东,邱楠生,饶丹,等. 柴达木盆地北缘侏罗系页岩油气成藏条件地质地球化学分析[J]. 地球科学, 2014, 43(5): 437-452.
- [12] 刘洛夫. 柴达木盆地东部地区烃源岩的生源与沉积环境[J]. 古地理学报, 2001, 12(2): 12-22.
- [13] 文志刚,王正允,何幼斌,等. 柴达木盆地北缘上石炭统烃源岩评价[J]. 天然气地球科学, 2004, 25(2): 125-127.
- [14] 孟仟祥,房嫒,徐永昌,等. 柴达木盆地石炭系烃源岩和煤岩生物标志物特征及其地球化学意义[J]. 沉积学报, 2004, 12(4): 12-20.
- [15] 刘成林,马寅生,周刚,等. 柴达木盆地石炭系生烃证据[J]. 石油学报, 2012, 33(6): 925-931.
- [16] 王大华,林武,李军亮,等. 柴达木盆地东部地区上石炭统烃源岩评价及潜力分析[J]. 石油天然气学报, 2013, 35(8): 17-20.
- [17] 马寅生,尹成明,刘成林,等. 柴达木盆地石炭系油气资源调查评价进展[J]. 地球学报, 2012, 33(2): 135-144.
- [18] 邵龙义,李猛,李永红,等. 柴达木盆地北缘侏罗系页岩气地质特征及控制因素[J]. 地学前缘, 2014, 21(4): 311-322.
- [19] 段宏亮,钟建华,王志坤,等. 柴达木盆地东部石炭系烃源岩评价[J]. 地质通报, 2006, 5(2): 32-33.
- [20] 甘贵元,严晓兰,赵东升,等. 柴达木盆地德令哈断陷石油地质特征及勘探前景[J]. 石油实验地质, 2006, 12(5): 22-26.
- [21] 康志宏,周磊,任收麦,等. 柴达木盆地中侏罗统大煤沟组七段泥页岩储层特征[J]. 地学前缘, 2015, 22(4): 265-276.
- [22] 张兵. 川东—渝北地区长兴组礁滩相储层综合研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2010.
- [23] 张建良. 柴达木盆地东部石炭系石油地质条件及油气勘探前景[J]. 石油实验地质, 2008, 30(2): 144-153.
- [24] 何登发,赵文智,雷振宇,等. 中国叠合型盆地复合含油气系统的基本特征[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 23-37.
- [25] 李思田. 沉积盆地动力学研究的进展、发展趋向与面临的挑战[J]. 地学前缘, 2015, 22(1): 1-8.