

文章编号: 1001- 6112(2008)02- 0144- 06

# 柴达木盆地东部石炭系石油地质条件及油气勘探前景

张建良<sup>1,2,3</sup>, 钟建华<sup>1,4</sup>, 李亚辉<sup>3</sup>, 段宏亮<sup>3</sup>, 李雪静<sup>5</sup>, 尹成明<sup>6</sup>

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广州 510640; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100871; 3. 中国石油化工股份有限公司 江苏油田分公司 地质科学研究所, 江苏 扬州 225009; 4. 中国石油大学 资源与信息学院, 山东 东营 257061; 5. 中国石油化工股份有限公司 江苏油田分公司 物探技术研究院, 南京 210046; 6. 中国石油与天然气股份有限公司 青海油田分公司 石油勘探开发研究院, 甘肃 敦煌 736202)

**摘要:** 在大量烃源岩有机地球化学分析的基础上, 结合区域地质调查及地震解释资料, 分析柴达木盆地东部石炭系的石油地质条件及油气勘探前景。该区石炭系分布广、残留厚度大, 烃源岩类型丰富。其中, 暗色泥岩有机碳含量平均为 1.85% (风化校正后), 有机质类型以 ㊟型和 ㊟型为主; 碳酸盐岩有机碳含量平均为 0.42% (风化校正后), 有机质类型以 ㊟型为主; 分别达到好烃源岩和中等烃源岩的标准。除宗务隆山前及都兰地区有机质热演化程度较高外, 其他地区烃源岩成熟度中等 ( $R_o$  值平均为 1.17%), 有机质正处于成熟阶段的生、排烃高峰期, 具有较强的生烃能力。该区发育多套储、盖层及多种类型油气圈闭, 发生过油气生成、运移和聚集成藏的过程, 具有较好的石油地质条件和良好的油气勘探前景。德令哈凹陷石炭系烃源岩条件好, 残留厚度大, 为有利生油区。宗务隆山前逆冲带和托南断阶带为有利勘探区。

**关键词:** 石油地质条件; 勘探前景; 石炭系; 柴达木盆地东部

中图分类号: TE122

文献标识码: A

## PETROLEUM GEOLOGIC CONDITIONS AND EXPLORATION PROSPECTS OF CARBONIFEROUS IN THE EAST OF Q Aidam BASIN

Zhang Jianliang<sup>1,2,3</sup>, Zhong Jianhua<sup>4,1</sup>, Li Yahui<sup>3</sup>, Duan Hongliang<sup>3</sup>, Li Xuejing<sup>5</sup>, Ying Chengming<sup>6</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100871, China; 3. Research Institute of Geologic Sciences, Jiangsu Oil Field, SINOPEC, Yangzhou, Jiangsu 225009, China; 4. School of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China; 5. Research Institute of Geophysical Prospecting Technology, Jiangsu Oil Field, SINOPEC, Nanjing, Jiangsu 210046, China; 6. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Qinghai Oil Field, PetroChina, Dunhuang, Gansu 736202, China)

**Abstract:** Based on organic geochemistry analysis of source rocks, combined with regional geologic survey and seismic data interpretation, it is discussed in this paper geologic conditions and exploration prospects of Carboniferous in the east of Qaidam Basin. Carboniferous is widely distributed in the region with large residual thickness. There are many categories of hydrocarbon source rocks. Dark-colored mudstones belong to good source rocks with 1.85% of organic carbon, type ㊟ and ㊟ organic matters and moderate maturity. And carbonates belong to moderate source rocks with 0.42% of organic carbon, type ㊟ organic matters and moderate maturity. All source rocks are in the peak period of oil generation and expulsion and have strong hydrocarbon generation ability, except for those in the Zongwulong mountain front belt and the Dulan area, where thermal evolution degree is too high. With moderate-good source rocks, several reservoir beds and capping formations as well as good trap conditions, Carboniferous in the east of Qaidam Basin has experienced the process of hydrocarbon generation, migration and accumulation, hence is favorable for petroleum exploration. The Delingha Depression is most favorable for hydrocarbon generation with good Carboniferous source rocks and large residual thickness. The Zongwulong mountain front structural belt and the Tuonan fault terrace belt are prospective areas.

**Key words:** petroleum geologic conditions; exploration prospect; Carboniferous; the east of Qaidam Basin

收稿日期: 2007- 05- 14; 修订日期: 2008- 02- 18。

作者简介: 张建良(1963—), 男, 高级工程师, 主要从事油田地质和开发综合研究工作。E-mail: zhjl@jocoo.com.cn。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40503003)和教育部高等学校博士点基金项目(20030425008)。

近年来,塔河油田、靖边气田、普光气田等大型碳酸盐岩油气田的发现,证实我国前新生代海相碳酸盐岩具有良好的勘探前景和巨大的生油气潜力<sup>[1-3]</sup>,寻找海相碳酸盐岩油气藏已成为我国油气资源战略接替的重要任务。柴达木盆地石炭系海相地层油气勘探目前处于初期阶段<sup>[4]</sup>,研究程度较低,仅零星地做了一些关于地层与烃源岩方面的初步调查与研究<sup>[5-10]</sup>,研究的系统性和全面性不足,影响了该区的油气勘探进程。本文在大量区域地质调查及有机地球化学分析的基础上,分析了柴达木盆地东部(以下简称“柴东”)地区石炭系的石油地质条件及油气勘探前景,预测了勘探有利区域,对柴达木盆地油气资源评价及战略选区具有重要意义。

### 1 地质概况

研究区位于柴达木盆地东部南祁连和东昆仑造山带之间,包括德令哈坳陷、锡铁山—牦牛山隆起、霍布逊坳陷等 3 个一级构造单元(图 1)。区内石炭系广泛出露于宗务隆山、欧龙布鲁克山、埃姆尼克山及牦牛山等山区,本文对该区石灰窑、红山中沟、柏树山、石灰沟、城墙沟、穿山沟、扎布萨尔秀及都兰等 8 个石炭系露头进行了仔细观察和测量(图 1)。结果表明,除北部宗务隆山前石炭系变质程度较高外,盆地内部石炭系变质程度较低,地层发育齐全、残留厚度大(图 2)。下石炭统(包括穿山沟组和城墙沟组)以台地相碳酸盐岩沉积为主,岩性为灰黑色灰岩、泥灰岩、生物灰岩及生物碎屑

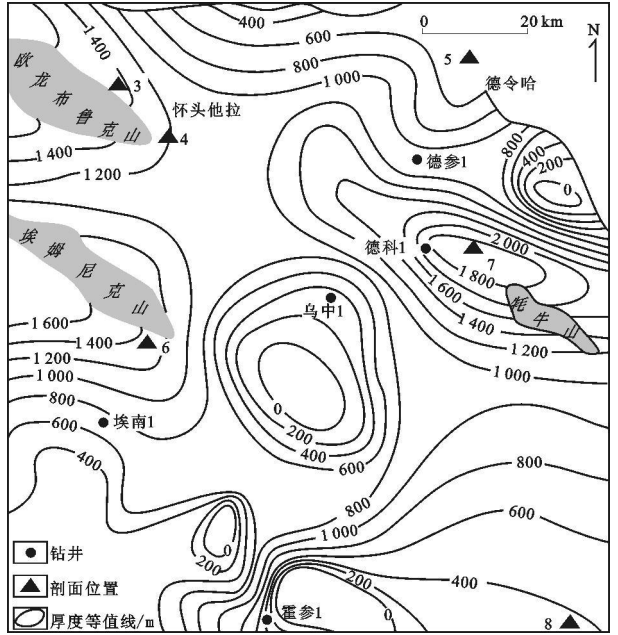


图 2 柴达木盆地东部石炭系残留厚度剖面名称同图 1。

Fig. 2 Residual thickness of Carboniferous in the east of Qaidam Basin

灰岩等;上石炭统(包括克鲁克组和扎布萨尔秀组)以海陆交互相含煤沉积为主,岩性为灰色泥灰岩、生物碎屑灰岩、暗色泥岩、碳质泥岩、煤及灰白色砂砾岩等<sup>[11]</sup>。

### 2 石油地质条件

#### 2.1 烃源岩条件

##### 2.1.1 烃源岩基本地球化学特征

研究区石炭系烃源岩类型丰富,包括台地相碳酸盐岩(以泥灰岩为主)和海陆交互相暗色泥岩、碳质泥岩及煤等。其中暗色泥岩有机碳含量变化范围较大,介于 0.07%~4.93%之间,平均为 1.03%,属于好的烃源岩;碳酸盐岩有机碳含量较低,介于 0.04%~1.03%之间,平均仅为 0.23%,属于差的烃源岩;碳质泥岩和煤的有机碳及可溶有机质含量均较低,属于非烃源岩或极差的烃源岩<sup>[11]</sup>。由于所有样品均来自地表露头,受风化作用影响较大<sup>[12,13]</sup>,与尕斯库勒 1 井下样品(泥岩有机碳含量为 1.85%,灰岩有机碳含量为 0.42%)对比,有机碳风化因子达 1.8。如果使用该风化因子对柴东地区地表露头暗色泥岩和碳酸盐岩进行有机碳含量校正,则校正后泥质烃源岩和碳酸盐岩烃源岩总体可达到好烃源岩及中等烃源岩的评价标准。其中,石灰沟和城墙沟地区烃源岩有机碳含量最高(表 1),生烃潜力最大;而其他地区碳酸盐岩

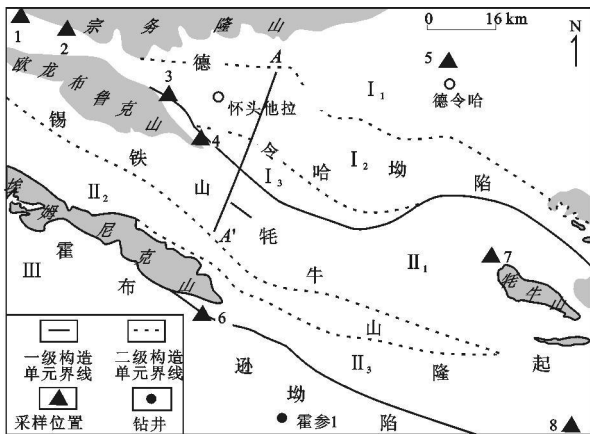


图 1 柴达木盆地东部研究区及采样位置

- iv<sub>1</sub>. 宗务隆山前逆冲带; iv<sub>2</sub>. 德令哈凹陷; iv<sub>3</sub>. 托南断阶带;
- ①. 欧龙布鲁克凸起; ②. 欧南凹陷; ③. 埃姆尼克凸起;
- 1. 石灰窑; 2. 红山中沟; 3. 石灰沟; 4. 城墙沟; 5. 柏树山;
- 6. 穿山沟; 7. 扎布萨尔秀; 8. 都兰

Fig. 1 Map of study areas and sampling sites in the east of Qaidam Basin

表 1 柴达木盆地东部石炭系烃源岩基本地球化学特征

Table 1 Basic geochemical data of Carboniferous source rocks in the east of Qaidam Basin

采样位置	岩性	TOC, % <sup>1)</sup>	TOC (校正后), %	"A", % <sup>1)</sup>	(S <sub>1</sub> + S <sub>2</sub> )/ (mg · g <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>	R <sub>o</sub> , % <sup>1)</sup>	有机质类型 <sup>2)</sup>
石灰沟	泥岩	0.23~ 4.93/ 1.37(58)	2.47	0.002 0~ 0.022 5/ 0.005 5(58)	0.02~ 1.16/ 0.24(58)	1.04~ 1.30/ 1.16(14)	⊖ <sub>2</sub> (5), ⊖ <sub>4</sub> (9)
	碳酸盐岩	0.05~ 1.03/ 0.36(16)	0.65	0.001 6~ 0.010 1/ 0.004 6(16)	0.02~ 0.22/ 0.07(16)		
	碳质泥岩	7.13~ 10.31/ 8.54(3)		0.014 1~ 0.025 0/ 0.020 2(3)	1.07~ 1.81/ 1.38(3)	0.98~ 1.06/ 1.02(2)	
	煤	88.38(1)		1.234 1(1)	69.36(1)	1.12(1)	
城墙沟	泥岩	0.11~ 1.64/ 0.69(20)	1.24	0.000 9~ 0.029 0/ 0.005 5(20)	0.02~ 0.56/ 0.11(20)	1.08~ 1.39/ 1.19(5)	⊖ <sub>2</sub> (1), ⊖ <sub>4</sub> (4)
	碳酸盐岩	0.07~ 0.49/ 0.21(13)	0.38	0.001 4~ 0.005 1/ 0.002 9(13)	0.02~ 0.08/ 0.04(13)		
穿山沟	泥岩	0.21~ 0.69/ 0.49(19)	0.88	0.001 0~ 0.002 6/ 0.001 7(19)	0.02~ 0.05/ 0.03(19)		
	碳酸盐岩	0.05~ 0.10/ 0.08(8)	0.14	0.002 1~ 0.006 0/ 0.004 2(8)	0.01~ 0.06/ 0.02(8)		
扎布萨尕秀	泥岩	0.07~ 2.64/ 0.89(14)	1.60	0.000 9~ 0.013 0/ 0.004 8(14)	0.02~ 0.76/ 0.22(14)	0.85~ 1.17/ 1.03(5)	⊖ <sub>2</sub> (4), ⊖ <sub>4</sub> (1)
	碳酸盐岩	0.04~ 0.15/ 0.09(6)	0.16	0.000 8~ 0.003 1/ 0.002 1(6)	0.02~ 0.04/ 0.03(6)		
	煤	45.79~ 45.96/ 45.88(2)		0.119 8~ 0.306 4/ 0.213 1(2)	11.60~ 20.10/ 15.86(2)		
都兰	泥岩	0.74~ 1.16/ 0.95(7)	1.70	0.001 4~ 0.003 3/ 0.002 3(7)	0.04~ 0.09/ 0.06(7)	2.44~ 2.76/ 2.60(4)	⊖ <sub>2</sub> (4)
柴东	泥岩	0.07~ 4.93/ 1.03(119)	1.85	0.000 9~ 0.029 0/ 0.004 5(119)	0.02~ 1.16/ 0.16(119)	0.85~ 2.76/ 1.38(28)	⊖ <sub>2</sub> (14), ⊖ <sub>4</sub> (14)
	碳酸盐岩	0.04~ 1.03/ 0.23(43)	0.42	0.000 8~ 0.010 1/ 0.003 6(43)	0.01~ 0.22/ 0.04(43)		
	碳质泥岩	7.13~ 10.31/ 8.54(3)		0.014 1~ 0.025 0/ 0.020 2(3)	1.07~ 1.81/ 1.38(3)	0.98~ 1.06/ 1.02(2)	
	煤	45.79~ 88.38/ 62.86(3)		0.119 8~ 1.234 1/ 0.602 8(3)	11.61~ 69.36/ 36.41(3)		

1) 最小值~ 最大值/平均值(样品数)。

2) 括号内为样品数。

不具备生烃能力, 总体生烃能力相对较差, 穿山沟地区生烃能力最差。

石炭系泥质烃源岩有机质类型以 ⊖<sub>2</sub> 型和 ⊖<sub>4</sub> 型为主, 两者含量接近; 而碳酸盐岩有机质类型相对较好, 为 ⊖<sub>1</sub> 型与 ⊖<sub>2</sub> 型; 煤样和碳质泥岩则相对较差, 为 ⊖<sub>4</sub> 型有机质<sup>[11]</sup>。烃源岩有机质成熟度除都兰地区较高(R<sub>o</sub> 值介于 2.44%~ 2.76% 之间)外, 其他地区成熟度中等, R<sub>o</sub> 值介于 0.85%~ 1.39% 之间, 平均仅为 1.17%(表 1), 烃源岩正处于成熟阶段的生、排烃高峰期<sup>[11]</sup>。

### 2.1.2 烃源岩分布特征

野外露头及岩相古地理研究表明, 受沉积相带控制, 柴东上石炭统烃源岩主要以海陆过渡相暗色泥页岩为主; 厚度介于 14~ 623 m 之间, 占地层厚度的 4.5%~ 30.0%; 分布于欧龙布鲁克山—牦牛

山一带(图 3a)。下石炭统烃源岩主要以局限台地相和台地边缘斜坡相泥灰岩为主; 厚度介于 101.4~ 610 m 之间, 占地层厚度的 8.6%~ 53.1%; 分布于埃姆尼克山、欧龙布鲁克山、怀头他拉、扎布萨尕秀和牦牛山等地(图 3b)。平面上, 德令哈凹陷烃源岩厚度最大, 碳酸盐岩和泥质烃源岩厚度多大于 300 m, 有机质丰度相对较高, 其中石灰沟地区碳酸盐岩和泥质烃源岩分别达到中等和好的烃源岩标准, 具有较好的烃源岩条件。

### 2.2 储集条件

发育碳酸盐岩和碎屑岩 2 种类型的储集岩。碳酸盐岩储集岩以早石炭世开阔台地沉积体系中的块状生物碎屑灰岩及台地边缘内碎屑—鲕粒滩相颗粒灰岩、生物礁灰岩为主。储集空间主要有次生粒间溶孔、晶间溶孔、溶蚀缝、构造缝及溶洞等,

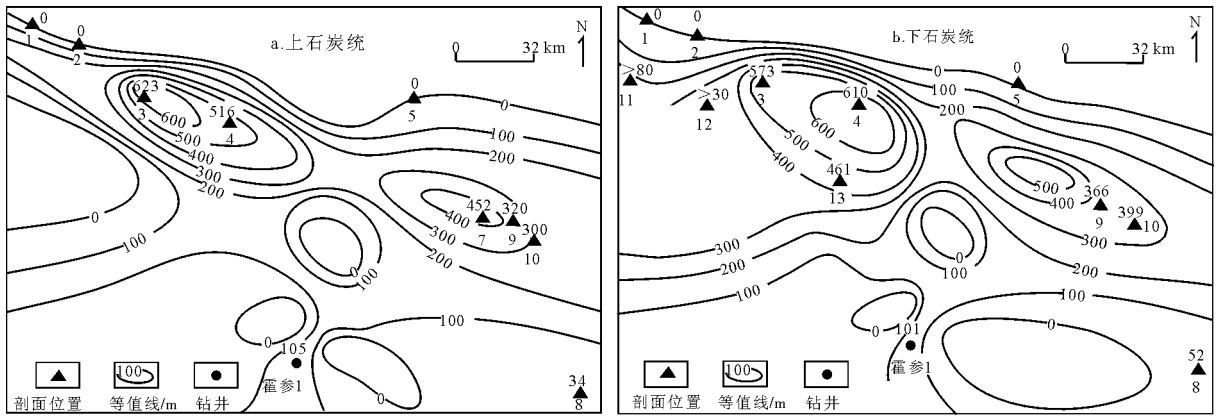
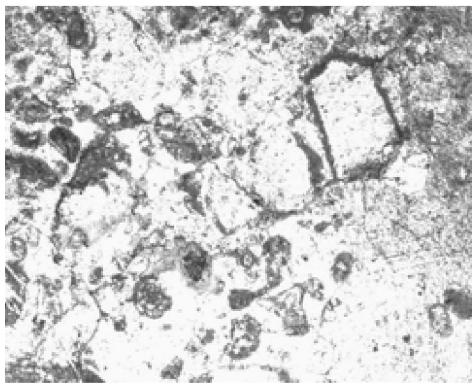


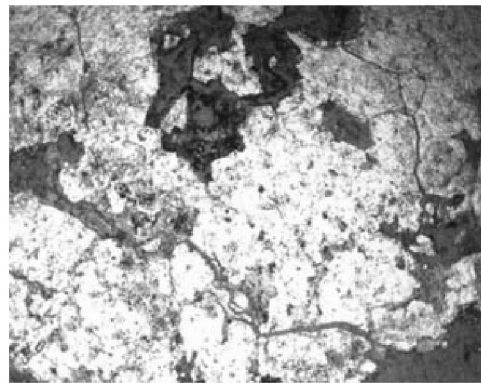
图 3 柴达木盆地东部石炭系烃源岩厚度等值线

- 1. 石灰窑; 2. 红山中沟; 3. 石灰沟; 4. 城墙沟; 5. 柏树山; 7. 扎布萨尔秀; 8. 都兰; 9. 旺尔秀;
- 10. 牦牛山煤矿; 11. 小柴旦; 12. 锡铁山以东; 13. 埃姆尼克山

Fig. 3 Thickness contour of Carboniferous source rocks in the east of Qaidam Basin



a. 碳酸盐岩储层



b. 碎屑岩储层

图 4 柴达木盆地东部石炭系储层镜下显微照片

单偏光, 4 × 20。

Fig. 4 Microscopic photographs of Carboniferous reservoir in the east of Qaidam Basin

以裂缝及溶蚀孔洞等为主。特别是构造缝和溶蚀缝的发育, 有效改善了储集空间的连通性, 使得储层连通孔隙度多大于 8%, 属于较好的储集岩(图 4a), 为该区极有利的储层。碎屑岩储集岩以晚石炭世发育的三角洲—滨岸沉积体系中的分流河道砂体、海滩砂体为主, 砂岩结构成熟度、成分成熟度都较高, 分选中等—好、磨圆度好; 孔隙度介于 6.6%~14.5% 之间, 平均为 9.7%; 渗透率较低, 平均仅为  $0.06 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 为较差的中低孔、低渗型储层。但局部地区构造裂缝及溶蚀孔隙等发育(图 4b), 储层的储集性能有所改善。此外, 该区上覆侏罗系—白垩系及新近系碎屑岩储层物性较好, 其中, 中、下侏罗统砂岩储层孔隙度和渗透率分别达 11.2% 和  $86.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 属好的储集层(图 5), 已被柴北缘侏罗系油气勘探实践所证实<sup>[14]</sup>。霍参 1 井钻井资料揭示该区厚约 1 214.5 m 的储层(包括下石炭统、上侏罗

统、新近系及第四系地层), 占地层厚度的 56.5%, 显示该区具有良好的储集条件。

### 2.3 封盖条件

柴东石炭系烃源岩发育多套盖层, 包括古生界石炭系灰黑色碳质页岩、致密灰岩; 中生界侏罗系—白垩系深灰色碳质泥岩、页岩和灰黄色、红褐色泥岩; 新生界第三系—第四系浅灰色、灰黄色泥岩和砂质泥岩等。其中, 下石炭统海侵体系域上部的致密灰岩及上石炭统海陆交互相碳质泥岩单层厚度可达 200~300 m, 一般为 20~100 m, 全区分布稳定, 为好的盖层。侏罗系深灰色碳质页岩、钙质页岩、红褐色泥岩及粉砂质泥岩单层最大厚度可达 50~200 m, 一般为 5~20 m, 分布较为稳定, 为较好的盖层。此外, 路乐河组和下干柴沟组上段泥岩在研究区广泛发育, 厚度大且分布稳定, 为石炭系油气的区域性盖层; 上干柴沟组、油砂山组及第

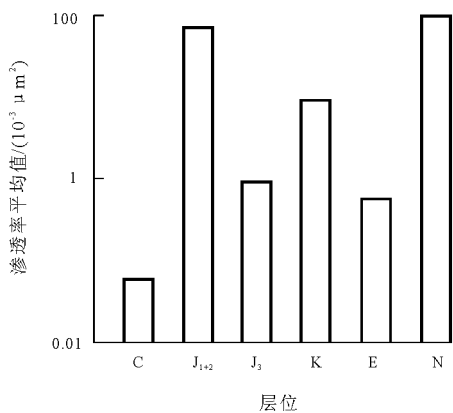
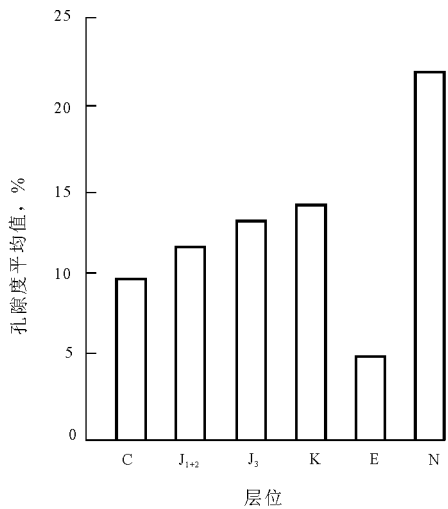


图5 柴达木盆地东部储层孔渗特征对比

Fig. 5 Comparison between porosity and permeability of reservoir in the east of Qaidam Basin

四系泥岩和盐岩为局部性盖层。德参1井各时代泥岩/地层厚度比统计资料表明,该区上侏罗统一第四系地层中泥岩占地层厚度均在30%以上,显示该区总体具有中等偏上的油气封盖条件<sup>[15]</sup>。

### 2.4 圈闭及保存条件

柴达木石炭纪裂陷盆地中、新生代经历了多期构造运动改造和盆地反转作用,在研究区形成了断块、断鼻及断背斜等多种类型的构造圈闭(图6)。这些构造圈闭具有良好的继承性,是油气运移和聚集的指向地带。柴北缘马海、南八仙和鱼卡侏罗系原油中发现混有石炭系烃源岩生成的原油<sup>[16]</sup>,说明后期构造运动对石炭系原生气藏的破坏作用较强烈,不过研究区地表露头至今尚未见到石炭系油气苗,反映该区石炭系油气藏(次生气藏)仍具有较好的保存条件。

### 3 油源对比

柴达木盆地地表至今尚未发现任何石炭系油

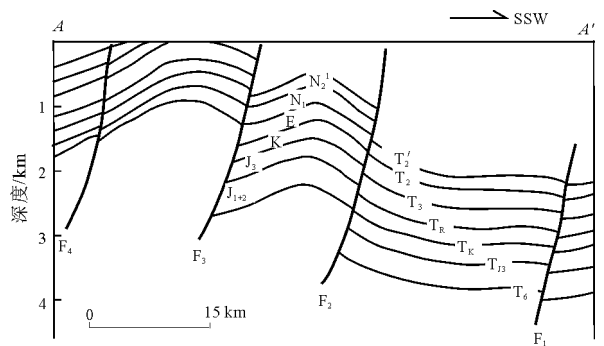


图6 柴达木盆地东部 D85051 测线地质解释  
测线位置见图1。

Fig. 6 Geologic interpretation of D85051 line in the east of Qaidam Basin

气苗,是制约盆地石炭系油气勘探进程的主要因素之一。近期在柴北缘马北二号构造上钻探的马北2井在1463~1466 m处钻遇疑源类原油。该原油与柴北缘侏罗系及第三系注入的原油差异较大,天然气氩同位素分析结果也表明南八仙和马北构造上天然气的源岩年代早于第三纪和侏罗纪<sup>[17]</sup>。油源对比表明,该原油与柴东石炭系露头烃源岩地球化学指标极为相似,具可对比性。主要表现在以下3点:首先,均含有较高的伽马蜡烷,其含量远高于侏罗系原油<sup>[18]</sup>,反映源岩形成于还原性的较咸水环境(图7a)。其次,具有相似的萜烷系列分布特征。三环萜烷碳数分布均较宽,为C<sub>19</sub>-C<sub>29</sub>,且均呈以C<sub>21</sub>或C<sub>23</sub>为主峰的正态分布,有别于该区侏罗系原油的C<sub>19</sub>>C<sub>20</sub>>C<sub>21</sub>>C<sub>23</sub>的阶梯状分布特征<sup>[18]</sup>。五环萜烷分布系列中,藿烷碳数分布范围均在C<sub>27</sub>-C<sub>32</sub>之间,且均以C<sub>30</sub>藿烷为主峰,C<sub>29</sub>藿烷为次主峰,C<sub>32</sub>以上的升藿烷含量均较低;表征成熟度特征的T<sub>s</sub>/T<sub>m</sub>值均大于1(图7a)。再次,具有相似的甾烷系列分布特征。规则甾烷分布均以C<sub>28</sub>为最低,呈不对称的“V”字形,且都呈现出C<sub>27</sub>甾烷的优势特征(图7b),表明母质类型为混合型,且以菌、藻类低等水生生物输入为主。

由此推断马北2井1463~1466 m井段原油可能来源于石炭系烃源岩,表明柴东北缘石炭系烃源岩曾发生过油气生成、运移和聚集成藏的过程。

### 4 油气勘探前景及方向

综上所述,柴东地区石炭系发育良好的烃源岩及储、盖层。盆地北缘马北2井石炭系原油的发现,证明该区石炭系曾发生过生排烃、运移和聚集成藏的过程,因而具有较好的石油地质条件。区域地质调查及有机地球化学分析表明,除北部宗务隆

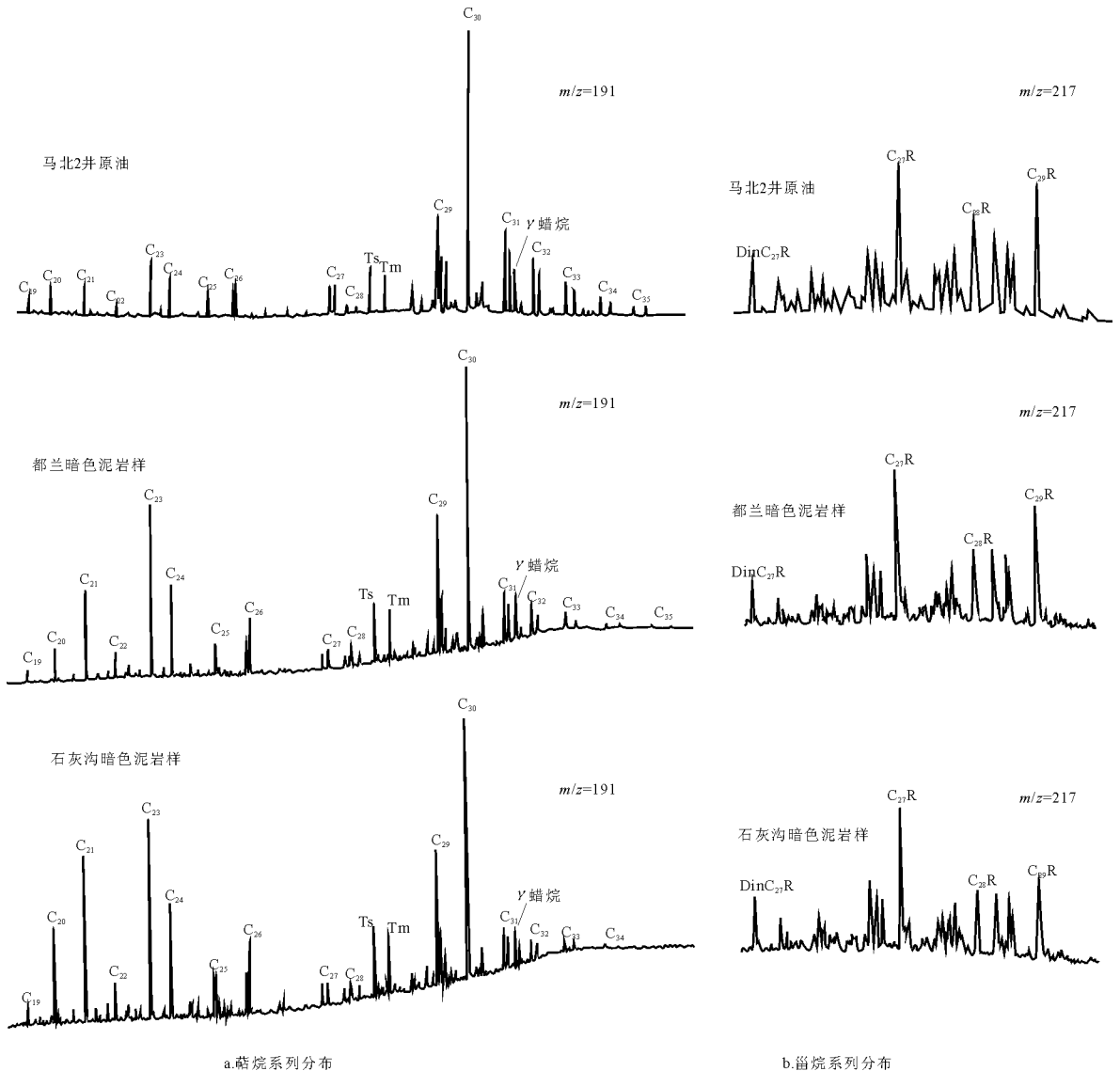


图 7 柴达木盆地东部马北 2 井原油与柴东石炭系露头烃源岩萜烷、甾烷系列分布特征

Fig. 7 Distribution pattern of terpanes and steranes for oil from Well Mabei-2 and Carboniferous outcrop source rocks in the east of Qaidam Basin

山前大柴旦、红山中沟、柏树山等地石炭系变质程度过高, 烃源岩不具备生烃能力, 南部都兰地区烃源岩处于过成熟演化阶段, 生烃能力较差外, 盆地内部(包括石灰沟、城墙沟、扎布萨尕秀等地区)石炭系烃源岩厚度大, 暗色泥岩和碳酸盐岩总体达到好烃源岩和中等烃源岩的标准, 成熟度中等( $R_o$  值平均为 1.17%), 有机质正处于成熟阶段的生、排烃高峰期, 生烃潜力较大。区域地质调查资料及最新地震解释资料揭示, 区内石炭系残留厚度最大可达 2 500 m, 厚度超过 800 m 的分布范围达 5 000 km<sup>2</sup> (图 2), 具有良好的油气勘探前景。

德令哈坳陷石炭系残留厚度较大, 存在欧龙布鲁克山和扎布萨尕秀—牦牛山 2 个残留厚度较大区域(图 2); 烃源岩丰度较高(石灰沟和城墙沟地

区泥岩和碳酸盐岩均达到好烃源岩和中等烃源岩的标准); 成熟度中等, 有机质正处于成熟阶段的生、排烃高峰期, 为有利生油区。宗务隆山前逆冲带和托南断阶带紧邻有利生油区, 构造变形比较强烈, 局部构造发育, 且位于构造鞍部, 是油气运移的指向地带, 为有利勘探区(图 1)。

参考文献:

- 1 戴金星, 宋岩, 张厚福等. 中国天然气的聚集区带[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 17~ 83
- 2 金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气勘探特殊性问题[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 15~ 22
- 3 李国玉. 海相沉积岩是中国石油工业未来的希望[J]. 海相油气地质, 2005, 10(1): 5~ 12

(下转第 153 页)

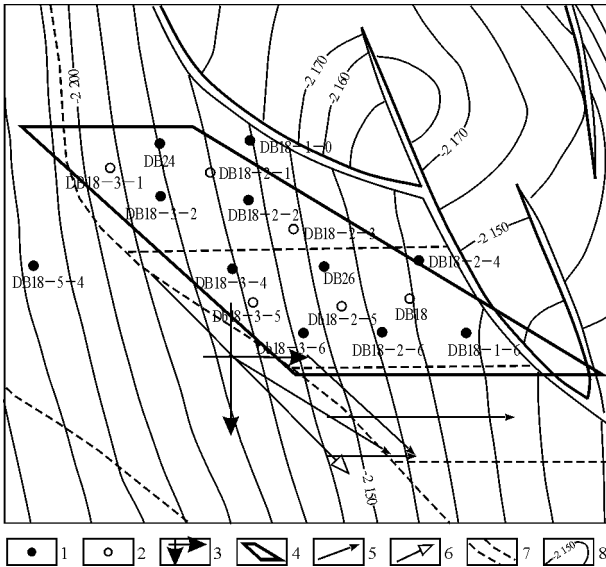


图 4 松辽盆地长岭凹陷腰英台油田 DB18 井组压裂矢量注采井网

- 1. 采油井; 2. 注水井; 3. 构造应力场、天然裂缝方向;
- 4. 井网区域; 5. 最佳驱替方向; 6. 辅助井排方向;
- 7. 储量边界线; 8. 构造等高线/m

Fig.4 Vector well pattern for fracturing in Well Group DB18 of Yaoyingtai Oilfield in the Changling Sag of the Songliao Basin

裂缝方向往往并不一致。通过对储层构造应力场、天然裂缝发育分布的研究,可以搞清储层构造应力场、天然裂缝的方向,并按照两者的矢量夹角进行注采井网的优化,从而形成最佳的驱油面积。

腰英台油田为低渗—特低渗透储层,天然裂缝较为发育,在开发过程中必须研究储层地应力、裂缝状态与油藏物性、层间油水关系之间的相互影响,使压裂改造和井网布置科学合理<sup>[8-10]</sup>。通过前期研究,采用线性井排注水方式,注采井网方向介于人工裂缝与天然裂缝之间(图 4)。实现了井网的最佳优化匹配,取得了很好的增油效果。

参考文献:

- 1 薛永超,程林松. 微裂缝低渗岩石渗透率随围压变化实验研究[J]. 石油实验地质, 2007, 29(1): 108~ 110
- 2 张厚福. 石油地质学[M]. 北京:石油工业出版社, 1999. 201~ 202
- 3 李道品. 低渗透油田高效开发决策论[M]. 北京:石油工业出版社, 2003. 35~ 47
- 4 王德胜. 现代油藏压裂酸化开采新技术实用手册[M]. 北京:石油工业出版社, 2006. 3~ 10
- 5 张义楷,周立发. 鄂尔多斯盆地中生代构造应力场与油气聚集[J]. 石油实验地质, 2006, 28(3): 215~ 218
- 6 杨宇,汪三谷. 川西低渗气藏单井地应力计算方法综合研究[J]. 天然气工业, 2006, 26(4): 32~ 34
- 7 杨君,郭春华. 新场气田地应力特征综合研究[J]. 天然气工业, 2005, 25(9): 20~ 22
- 8 李年根,赵立强. 裂缝高度延伸机理及控缝高压压技术研究[J]. 特种油气藏, 2006, 13(2): 61~ 63
- 9 王晓泉,姚飞. 水力裂缝垂向延伸影响因素分析及控制方法研究[J]. 天然气, 2005, 1(1): 52~ 56
- 10 于永波. 新站低渗透油田裂缝参数优化设计[J]. 大庆石油学院学报, 2005, 29(4): 23~ 25

(编辑 徐文明)

(上接第 149 页)

- 4 甘贵元,严晓兰,赵东升等. 柴达木盆地德令哈陷石油地质特征及勘探前景[J]. 石油实验地质, 2006, 28(5): 499~ 503
- 5 王训练,高金,张海军等. 柴达木盆地北缘石炭系顶、底界线再认识[J]. 地学前缘, 2002, 9(3): 65~ 72
- 6 李守军,张洪. 柴达木盆地石炭系地层特征与分布[J]. 地质科技情报, 2000, 19(1): 1~ 4
- 7 翟光明,徐凤银,李建青. 重新认识柴达木盆地力争油气勘探获得新突破[J]. 石油学报, 1997, 18(2): 1~ 7
- 8 孟仟祥,房媛,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, 22(4): 729~ 736
- 9 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, 15(2): 125~ 127
- 10 于会娟,刘洛夫,赵磊. 柴达木盆地东部地区古生界烃源岩研究[J]. 石油大学学报, 2001, 25(4): 24~ 30
- 11 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, 25(9~ 10): 1135~ 1142
- 12 张君峰,王东良,秦建中等. 青藏高原地面露头样品风化校正研究[J]. 石油实验地质, 2001, 23(3): 297~ 300
- 13 孟元林,肖丽华,杨俊生等. 风化作用对西宁盆地野外露头有机质性质的影响及校正[J]. 地球化学, 1999, 28(1): 42~ 50
- 14 王明儒,胡文义,彭德华. 柴达木盆地北缘侏罗系油气前景[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(5): 20~ 24
- 15 洪峰,余辉龙,宋岩等. 柴达木盆地北缘盖层地质特点及封盖性评价[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(5): 8~ 11
- 16 邵文斌,彭立才,汪立群等. 柴达木盆地北缘井下石炭系烃源岩的发现及其地质意义[J]. 石油学报, 2006, 27(4): 36~ 39
- 17 徐永昌,沈平,刘文汇等. 天然气中稀有气体地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1995. 77~ 84
- 18 彭立才,彭小群,汪立群. 柴达木盆地北缘马北地区油源对比[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(5): 526~ 529

(编辑 韩 或)