

柴达木盆地石炭系油气勘探前景

葛岩¹, 刘成林², 谢英刚¹, 胡云亭¹, 马寅生², 公王斌²

(1. 中海油能源发展工程技术分公司, 天津 300452; 2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要:柴达木盆地石炭系油气勘探长期以来一直未取得大的突破。在对研究区石炭系构造特征、沉积特征、烃源岩地球化学特征、油气源对比等综合分析的基础上,对其油气勘探前景进行评价。研究表明,柴达木盆地石炭系烃源岩类型主要包括泥岩、炭质泥岩、煤和灰岩;北缘烃源岩最具勘探潜力,有机质丰度高,有机质类型以Ⅱ型和Ⅲ型为主,处于成熟—高成熟阶段,具备良好的生烃潜力;多期构造运动控制了油气形成期次及其后期分布范围;露头区油气显示及油源对比结果进一步证实,石炭系烃源岩经历了生、排烃过程,油气成藏受构造控制作用明显,北缘石炭系具有早期生烃、断裂输导、调整成藏的成藏模式。

关键词:石炭系 油源对比 成藏模式 勘探潜力 柴达木盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)02-0057-05

中国西北地区石炭系分布广泛,具有良好的烃源岩条件和生储盖组合,目前在塔里木、准噶尔、吐哈、三塘湖等盆地已成为重要的油气产层。柴达木盆地石炭系广泛出露于盆地周缘,以一套海陆交互的碎屑岩和碳酸盐岩沉积为特征,但中、新生界巨厚的沉积地层导致石炭系埋藏较深,加之多期构造运动的影响,致使早期研究认为石炭系遭受了动力变质,是否具备勘探潜力一直存在争议。近年来针对石炭系开展的地质调查研究表明,柴达木盆地东部石炭系未发生变质,有机质丰度较高,具有一定的生烃潜力。目前在柴达木盆地北缘马北和鱼卡地区中、新生代油气探测中,获得了具有石炭系油源特征的原油,在绿梁山、石灰沟等盆地周缘的石炭系露头中陆续发现油气显示,展现出良好的勘探前景^[1]。为此,笔者在对柴达木盆地石炭系石油地质条件深入研究的基础上,进一步分析了其油气勘探前景。

1 区域地质概况

柴达木盆地位于青藏高原北部,是在前侏罗纪柴达木地块上发育起来的中、新生代陆内沉积盆地,面积为 $12.1 \times 10^4 \text{ km}^2$,是中国西部3大含油气盆地之一。盆地内发育了古生界、中生界和新生界3套地层,其中古生界以奥陶系、石炭系最为发育。

徐凤银等将柴达木盆地自下而上划分为石炭系、侏罗系、古近系—新近系及第四系4套含油气系统,平面分布区域大致对应德令哈坳陷、北部断块带、茫崖坳陷和三湖坳陷4个构造单元^[2-4]。侏罗系、古近系—新近系和第四系3个含油气系统是目前主要的勘探对象,而石炭系勘探程度较低。

野外调查结果表明,柴达木盆地石炭系主要分布在盆地北缘小赛什腾山中段、土尔根达坂山西南缘、绿梁山、锡铁山,北缘东段的德令哈断陷、埃姆尼克山、欧龙布鲁克山、扎布萨尕秀山及牦牛山地区,南缘祁漫塔格山前、肯德可科的巴音格勒河两旁和格尔木的部分地区(图1)。

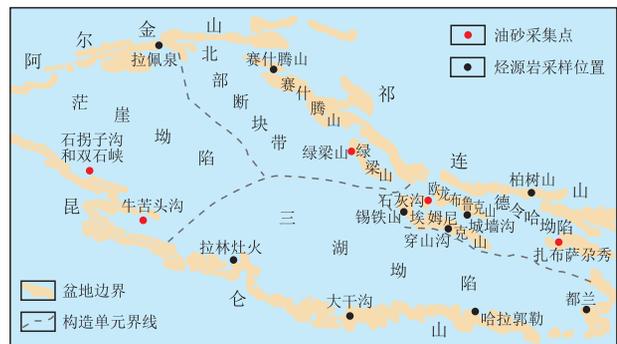


图1 柴达木盆地石炭系出露位置

柴达木盆地石炭系采用东缘和南缘2种划分方案,东缘由下而上依次为穿山沟组、城墙沟组、怀头他拉组、克鲁克组和扎布萨尕秀组;南缘从下到上

收稿日期:2013-11-26。

作者简介:葛岩,男,工程师,博士,从事油气藏形成与分布及油气资源评价的研究。联系电话:15122509983, E-mail:geyan@cnooc.com.cn。
基金项目:国家地质大调查项目“柴达木盆地油气资源潜力评价”(1212010818054)中海油能源发展重大专项“致密气、页岩气勘探潜力评价及成藏富集规律方法研究”(WBS:E-J313N020)。

为石拐子组、大干沟组、締め苏组和四角羊沟组下部。石炭系在东缘埃姆尼克山、欧龙布鲁克山的厚度可达2 000 m以上,昆仑山前出露较少,牛苦头沟厚度可达1 600 m^[5-6]。

2 构造及沉积特征

2.1 构造特征

柴达木盆地在前寒武纪、寒武纪、奥陶纪、志留纪、泥盆纪等多个地质历史时期形成了一定的构造格局及深大断裂,这些早期形成的大型构造对于石炭系的沉积、展布及后期构造发育演化起到了重要的控制作用^[7]。在柴达木盆地石炭系露头区,广泛发育背斜、向斜构造,在旺尕秀剖面扎布萨尕秀组灰岩和炭质泥岩地层中挤压构造发育,在这些地面构造中紧闭褶皱的特征明显,并出现平卧褶皱与紧闭向斜相伴生的特征,表明经历了多期构造叠加。

柴达木盆地石炭纪古断裂十分发育,这些断裂形成早,活动时间长,不仅控制了石炭系分布,而且有些深大断裂对于石炭纪盆山具有十分重要的控制作用。以柴达木盆地北缘深大断裂为例,该断裂西起阿尔金山东段南麓,东经赛什腾山、绿梁山、锡铁山、埃姆尼克山,在都兰以北与鄂拉山断裂带相交接。沿这些山麓的老地层与新生界之间展布一系列规模不等、大小不一的断裂,是北缘前古近纪隆起区与柴达木盆地中、新生代拗陷的一条重要分界线。多期构造运动以及局部地区岩浆活动决定了油气形成期次,与之对应的多期断裂活动进一步控制了油气的分布。

2.2 沉积特征

柴达木盆地石炭纪的沉积环境明显受区域构造控制,构造的差异性升降运动造成了石炭纪不同时期的沉积环境在横向上的分布有所不同。古生物、沉积岩性组合特征等与古地理环境及演变关系密切^[8-9]。

泥盆纪后,柴达木盆地周缘地区结束了陆相—海陆交互相并存的沉积历史,早海西运动使柴达木盆地在南北向挤压的作用下,地块本身发生差异性的升降运动,出现了北西—北西西向隆拗相间的2排古陆和拗陷,这些古陆和拗陷决定了早石炭世沉积的古地理格局。

早石炭世,昆仑海水由东南向北侵入柴达木盆地,海侵初期由于古陆隆起,风化剥蚀作用较为强烈,在古陆边缘发育滨海冲积相堆积,但持续时间较短,随着海侵规模增大,这些地区形成滨海砂砾

岩夹灰岩沉积,而柴达木盆地主体为碳酸盐台地相。早石炭世中晚期海侵规模达到最大,发育碳酸盐台地相,形成以灰岩为主夹碎屑岩的沉积,与北祁连陆表海沟通,生物群属特提斯大区类型,也有少量北方型,气候总体较炎热、较干旱。北缘以及同期沉积的西南缘岩性组合和古生物特征表明了柴达木盆地早石炭世早期为广阔的浅海碳酸盐台地相,横向分布较稳定。早石炭世中晚期沉积环境由滨海向正常浅海过渡,而西南缘处于浅海高能带,经历了海侵扩大的沉积演化过程。

柴达木盆地晚石炭世古地貌格局与早石炭世基本相同,但中祁连古陆明显向北西方向扩大,在牛鼻子梁—达布逊古陆至布赫特古陆以北地区与祁连—走廊地区相似,主要为海陆过渡相沉积,包括泻湖、河流、三角洲及沼泽沉积,古陆以南地区沿古陆边缘仍有滨海相发育,柴达木盆地主体仍为碳酸盐台地相。晚石炭世柴达木盆地生物群以蜓类、腕足为主,珊瑚衰退,说明水流强度减弱。东北缘早期植物化石丰富,为海陆交互相沉积,晚石炭世煤系发育,具滨海沼泽沉积特征。西南缘沉积环境继承了早石炭世浅海碳酸盐台地相较高能沉积的特点。

3 烃源岩地球化学特征

野外地质调查及钻井结果表明,柴达木盆地石炭系烃源岩包括灰岩、泥岩、炭质泥岩和煤4种类型。由于受到区域构造作用、沉积环境及风化因素的影响各不相同,柴达木盆地石炭系烃源岩在不同地区、不同层位,甚至在同一层位,有机质丰度表现出极大的差异性^[10-12]。柴东地区石炭系泥岩、炭质泥岩展现良好的生烃潜力(表1),如石灰沟地区泥质烃源岩有机碳含量(TOC)为0.07%~39.74%,平均值达到2.24%;扎布萨尕秀地区炭质泥岩TOC值为0.83%~4.28%,平均值达到2.12%;柴西南地区石炭系有大量灰岩出露,TOC值总体为0.02%~0.32%,平均值为0.084%,属于差—中等烃源岩。

石炭系烃源岩氯仿沥青“*A*”含量和生烃潜力(S_1+S_2)较小、变化范围大,泥质岩分别为0.000 8%~0.021%和0.02~1.07 mg/g,平均仅为0.005%和0.19 mg/g(表1);灰岩分别为0.000 8%~0.010 1%和0.02~0.22 mg/g,平均仅为0.003 5%和0.05 mg/g。

由于所有样品均来自地表,受风化作用影响,干酪根元素比已不能作为烃源岩有机质类型判别的指标,因此,选用受风化作用影响较小的干酪根

镜下鉴定及干酪根碳同位素分析作为主要研究手段。干酪根碳同位素分析结果显示,石炭系泥质岩碳同位素值为 $-28.7‰\sim-21.3‰$,平均为 $-24.5‰$,其中约75%的样品表现出 III_1 型特征,少量为 II 和 III_2 型;灰岩的碳同位素值为 $-30.8‰\sim-23.6‰$,表现为 $II-I$ 型有机质特征;煤的碳同位素值为 $-23.9‰\sim-22.8‰$,为 III_1 型有机质。

整个盆地镜质组反射率(R_o)为 $0.68\%\sim2.76\%$,

样品多处于成熟—高成熟阶段,这与最高热解峰温分析结果相一致,其中石灰沟、扎布萨尕秀及大干沟地区烃源岩成熟度相对较低,相当比例样品处于成熟阶段,展现了良好的生烃潜力;城墙沟、穿山沟、石拐子沟及井下样品 R_o 值较高,平均值为 $1.2\%\sim1.3\%$ 以上,处于生干气的高成熟阶段;都兰地区受岩浆热演化作用的影响, R_o 值普遍偏高(表1),平均值达到 2.18% 。

表1 柴达木盆地石炭系烃源岩有机地球化学特征

采样剖面	岩性	TOC, %	$(S_1+S_2)/(mg\cdot g^{-1})$	氯仿沥青“A”, %	$\delta^{13}C, ‰$	有机质类型	$R_o, ‰$
石灰沟	泥岩	0.07~39.74 2.24(64)	0.02~1.07 0.24(64)	0.002 1~0.021 4 0.005 14(47)	-24.9~ -22.3 -23.2(3)	III_1-II	0.68~1.35 1.08(20)
	炭质泥岩	0.03~10.33 3.01(21)	0.03~1.81 0.5(21)	0.001 95~0.025 0.009(19)	-23.2(1)	III_2-III_1	0.98~1.26 1.13(12)
	灰岩	0.05~1.03 0.23(24)	0.02~0.22 0.052(24)	0.001 65~0.010 1 0.004 7(17)	-28.4~ -25.2 -26.8(2)	III_2	0.8~1.24 1.02(2)
	煤	88.38(1)	69.36(1)	0.467 8(1)	-23.9(1)	III_2	
扎布萨尕秀	泥岩	0.07~1.45 0.419(9)	0.02~0.16 0.082(9)	0.000 95~0.002 5 0.001 9(9)		III_1-II	0.94~1.16 1.08(6)
	炭质泥岩	0.83~4.28 2.12(8)	0.07~2.66 0.78(8)	0.003 6~0.056 8 0.023 9(8)	-24.4~ -23.3 -23.8(3)	III_1	0.85~1.43 1.09(6)
	灰岩	0.04~2.3 0.4(11)	0.01~1.45 0.22(11)	0.000 8~0.074 8 0.015(11)	-30.8~ -23.6 -27.1(6)	III_2	1.13~2.49 1.81(2)
城墙沟	泥岩	0.03~1.64 0.59(24)	0.02~0.22 0.06(24)	0.000 85~0.021 0.004 22(22)	-28.1~ -22.0 -25.05(2)	III_1-II	1.1~1.22 1.14(14)
	炭质泥岩	0.69~1.42 1.06(2)	0.11~0.56 0.34(2)	0.002 5~0.016 0.009(2)	-22.5 (2)	III_1	1.08~1.30 1.19(2)
	灰岩	0.06~0.49 0.17(17)	0.02~0.19 0.05(17)	0.001 2~0.009 0.002 9(14)	-25.9~ -24.7 -25.3(2)	III_2	1.24~1.62 1.43(2)
穿山沟	泥岩	0.18~0.6 0.42(4)	0.01~0.04 0.03(4)	0.001~0.002 0.001 2(4)	-28.7~ -21.3 -24.7(4)	III_1-II	1.12~2.24 1.68(2)
	灰岩	0.08~0.13 0.105(2)	0.02~0.03 0.025(2)	0.001~0.002 0.001 5(2)	-27.2~ -25.7 -26.5(2)	III_2	
绿梁山	灰岩	0.04~0.09 0.065(2)	0.02~0.03 0.025(2)	0.001 2~0.002 9 0.001 8(3)	-24.5(1)	III_2	1.2(1)
都兰	泥岩	0.1~1.33 0.8(13)	0.01~0.09 0.04(13)	0.001~0.003 35 0.002(13)	-22.4~ -21.3 -21.9(7)	III_1-II	1.38~2.76 2.18(5)
大干沟	泥岩	0.07~0.48 0.34(5)	0.01~0.02 0.018(5)	0.001~0.002 0.001 22(5)	-25.0~ -22.6 -24.0(4)	III_1-II	0.8(1)
石拐子沟	泥岩	0.03~0.1 0.07(2)	0.02(1)	0.000 1~0.002 3 0.001 7(2)		III_1-II	1.38~1.46 1.43(3)
	灰岩	0.02~0.32 0.084(9)	0.02~0.31 0.06(9)	0.001 1~0.002 6 0.001 8(9)	-29.2~ -24.2 -27.3(4)	III_2	1.27~1.68 1.48(2)

注:实验数据表示为 $\frac{\text{最小值}\sim\text{最大值}}{\text{平均值}(\text{样品数})}$ 。

4 油气显示及勘探潜力

前人针对柴达木盆地石炭系油气勘探潜力多局限于烃源岩评价^[13-14],笔者通过对全盆地石炭系的野外地质调查,在绿梁山、牛苦头沟地区的灰岩裂缝及扎布萨尕秀地区砂岩中均发现油气显示。

以盆地北缘绿梁山石炭系为例,在绿梁山南坡第四纪坡积物中残留的油砂出露长度超过100 m,宽度约为50 m。在50 m的探槽中,发育5层油砂,最厚一层油砂宽度达9 m,油砂已从基岩到达地表坡积物中(图2),表明油气运移的地质年代较新;同时在其下覆石炭系怀头他拉组灰岩裂缝中普遍见到油迹,表明原油经灰岩裂缝发生运移(图3)。



图2 绿梁山第四纪坡积物中残留的油砂



图3 绿梁山怀头他拉组灰岩裂缝中的油迹

通过对柴达木盆地石炭系区域构造、沉积特征及烃源岩有机地球化学特征的研究,认为北缘石炭系最具油气勘探潜力。德令哈坳陷烃源岩厚度普遍大于1 000 m,热演化程度低,大部分地区为成熟

烃源岩, R_o 值小于1.3%, TOC 值大于0.5%,为柴达木盆地石炭系最有利的生油气区。石灰沟所在欧龙布鲁克山一带的石炭系最大残余厚度在2 000 m以上, R_o 值平均小于1.2%,通过有机碳含量及生烃潜力的评价可达到中等—好烃源岩标准;扎布萨尕秀山地层厚度在1 400 m以上, R_o 值平均小于1.1%,热演化程度最低,有机碳含量和生烃潜力的评价结果显示,上石炭统炭质泥岩及灰岩为优质烃源岩。

油源对比证实,绿梁山第四纪坡积物中残留的油砂来自石炭系怀头他拉组灰岩。由甾烷和萜烷对比(图4)可以看出,藿烷系列分布完整,三环萜烷含量较高, T_s 与 T_m 含量相当, T_m/T_s 值为0.98~1.15,伽马蜡烷含量较高,伽马蜡烷指数为0.18~0.31;规则甾烷 C_{27} — C_{28} — C_{29} 呈不对称“V”型分布, $\alpha\alpha\alpha 20R$ 甾烷 C_{27}/C_{29} 值为0.91~1.30;成熟度参数 $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值为0.33~0.50, C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值为0.39~0.45; $T_s/(T_s+T_m)$ 值为0.46~0.58。

绿梁山前构造带面积为840 km²,包括尕丘、野马、圆丘等局部构造。受自北向南的挤压作用,发育一系列逆冲断裂,在绿南断裂下盘形成了与山系基本平行的大型背斜、断背斜和断鼻构造,如圆丘背斜、野马背斜、尕丘断鼻等,且深、浅层构造具有较好的继承性。绿梁山石炭系怀头他拉组灰岩地层在强烈的挤压作用下出露地表,现已处于成熟—高成熟阶段,经历了早期生烃过程。从绿梁山南坡

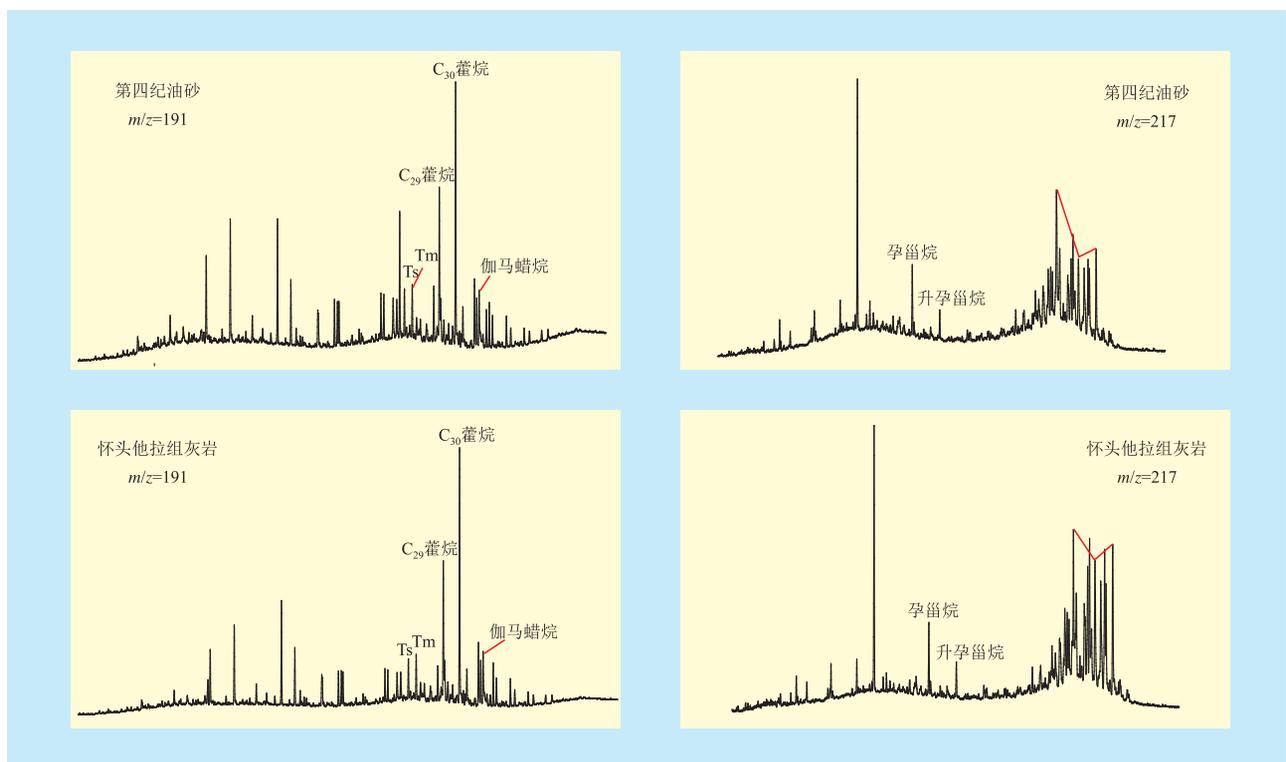


图4 柴达木盆地北缘绿梁山地区油源对比

第四纪坡积物发现的油砂情况来看,为后期构造运动导致石炭系发育的油藏遭受破坏,原油沿断层或裂缝运移至地表。在一系列逆冲断层控制作用下,北缘石炭系及上部侏罗系具备形成断背斜油藏的条件。综上所述,柴达木盆地北缘石炭系具有多期生烃、断裂输导、调整成藏的成藏模式(图5)。

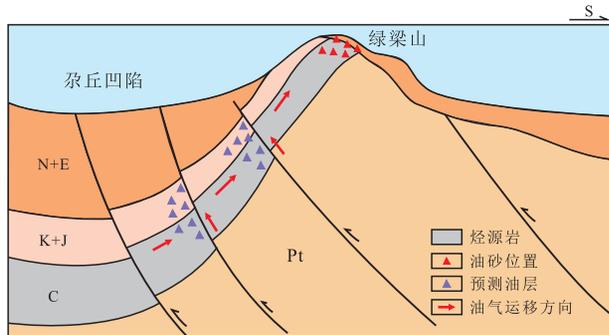


图5 柴达木盆地北缘绿梁山地区油气成藏模式

5 结论

柴达木盆地受南北向挤压作用,经历了多期构造运动,决定了石炭系油气的形成期次。与之对应继承性发育的一系列深大断裂不仅影响了石炭世沉积的古地理格局,也进一步控制了石炭系油气后期的分布范围。柴达木盆地石炭系主要有泥岩、炭质泥岩、煤和灰岩4种烃源岩类型。北缘石炭系烃源岩有机质丰度高,有机质类型以Ⅱ和Ⅲ型为主,现今处于成熟—高成熟阶段,具备良好的生烃潜力,可以作为石炭系油气勘探的主要地区。绿梁山、石灰沟、牛苦头沟等剖面石炭系中相继发现油气显示,表明石炭系经历过生烃及油气运聚过程。油源对比结果进一步证实,绿梁山第四纪坡积物中残留的油砂来自石炭系怀头他拉组灰岩地层。

柴达木盆地北缘石炭系具有早期生烃、断裂输

导、调整成藏的成藏模式。继承性发育的逆冲断层是控制石炭系油气成藏的关键,构造运动导致石炭系生成的油气不断遭受破坏,沿断层发生运移,可以形成断背斜油藏。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 徐凤银,彭德华,侯恩科.柴达木盆地油气聚集规律及勘探前景[J].石油学报,2003,24(4):1-6.
- [3] 王金鹏,彭仕必,姜桂凤,等.柴达木盆地第四系生物气资源量预测[J].油气地质与采收率,2008,15(2):27-30.
- [4] 杨竞,周莉,张鹏,等.柴达木盆地红沟子构造沟7井区烃源岩评价[J].油气地质与采收率,2008,15(2):61-63,66.
- [5] 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(3):1-4.
- [6] 王训练,高金汉,张海军.柴达木盆地北缘石炭系顶、底界线再认识[J].地学前缘,2002,3(9):65-70.
- [7] 王风华,罗群,李玉喜,等.柴达木盆地断裂上下盘油气差异聚集效应与成因[J].油气地质与采收率,2007,14(2):19-22.
- [8] 杨平,胡勇.柴达木盆地石炭纪古生态与沉积环境[J].新疆石油地质,2006,27(3):280-284.
- [9] 朱如凯,许怀先,邓胜徽,等.中国北方地区石炭纪岩相古地理[J].古地理学报,2007,9(1):13-24.
- [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:自然科学版,2001,25(4):24-29.
- [11] 刘玉华,王祥,张敏,等.柴达木盆地西部南区绿参1井暗色泥岩生烃条件研究[J].特种油气藏,2010,17(4):50-52.
- [12] 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.
- [13] 杨明林,尹太举,张昌民,等.柴达木盆地北缘马海以东地区地层油气藏评价[J].油气地质与采收率,2008,15(1):41-43.
- [14] 黄成刚,陈启林,阎存凤.柴达木盆地德令哈地区油气资源潜力评价[J].断块油气田,2008,15(2):4-7.

编辑 经雅丽

欢迎投稿 欢迎订阅