

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.04.014

南祁连盆地下日哈坳陷上三叠统泥页岩地球化学特征 及生烃潜力评价

李成福¹, 陈磊², 刘钰³, 韦钦杰³, 肖龙², 范文科¹, 云启成¹

(1. 青海省地质调查局, 青海 西宁 810000; 2. 青海煤炭地质勘查院, 青海 西宁 810000;
3. 中国石油集团西部钻探工程有限公司试油公司, 新疆 克拉玛依 834000)

摘 要:下日哈坳陷是南祁连盆地中油气地质工作程度较低的地区之一, 南祁连盆地发育石炭系暗色泥(灰)岩、下二叠统草地沟组暗色灰岩、上三叠统尕勒得寺组暗色泥岩和侏罗系暗色泥页岩 4 套烃源岩系, 其中三叠纪烃源岩厚度较大, 有机质丰度属于低-中等, 有机质成熟度适中, 具有一定的生烃潜力和形成页岩气的地质条件。为了进一步认识下日哈坳陷上三叠统泥页岩生烃潜力, 通过下日哈坳陷地质调查井和地表采集的样品, 开展了上三叠统泥页岩分布、有机质丰度、有机质类型、有机质成熟度、矿物组成、储集特征和含气显示等页岩气地质条件的综合研究, 认为下日哈坳陷地区上三叠统暗色泥页岩发育分布广、厚度大、有机质丰度中等、Ⅱ—Ⅲ型干酪根类型具有良好的生烃潜力; 暗色泥页岩中脆性矿物的含量较高, 黏土矿物以伊利石和绿泥石为主, 利于吸附气的聚集和后期压裂改造形成裂缝; 暗色泥岩物性较好, 矿物粒间孔、次生溶蚀孔、有机质孔和微裂缝等孔(缝)隙发育, 具有良好的储集条件, 且在钻井岩心中上三叠统见到了异常显示, 指示了下日哈坳陷地区上三叠统具有较好的页岩气生烃潜力, 是南祁连盆地值得探索的油气新领域。

关键词:南祁连盆地; 下日哈坳陷; 上三叠统; 页岩气; 地球化学特征; 生烃潜力

中图分类号: P618.11

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)04-0153-10

Geochemical Characteristics and Evaluation of Hydrocarbon-generating Potential of the Upper Triassic Mud Shale in Xiariha Depression of South Qilian Basin

LI Chengfu¹, CHEN Lei², LIU Yu³, WEI Qinjie³, XIAO Long², FAN Wenke¹, YUN Qicheng¹

(1. Qinghai Bureau of Geological Survey, Xining 810000, Qinghai, China; 2. Qinghai Coal Geological Exploration Institute, Xining 810000, China; 3. Formation Testing Company of CNPC Xibu Drilling Engineering Company Limited, Karamay 834000, Xinjiang, China)

Abstract: Xiariha depression is in the southern Qilian Basin with relatively low degree of geological investigation in oil and gas. There are four sets of source rocks in this area: Carboniferous dark mudstone, Caodigou formation Lower Permian dark mud shale, Garaefersi formation Upper Triassic dark mudstone and Jurassic dark mudstone. Triassic source rock is of favorable conditions for hydrocarbon-generating potential and shale gas considering its thickness, content and

收稿日期: 2019-08-10; 修回日期: 2020-05-30

基金项目: 青海省清洁能源矿产专项资金勘查项目“青海省天峻县下日哈坳陷页岩气调查评价”(2018137088kc052)

作者简介: 李成福(1985-), 男, 青海西宁人, 高级工程师, 硕士, 主要从事能源矿产资源勘查工作。E-mail: kfuture@qq.com

maturity of organic matter. The authors carried out comprehensive studies on the distribution of Upper Triassic mud shale, the abundance, type and maturity of organic matter, the mineral composition, the reservoir property and the gas indication etc. to further understand the hydrocarbon-generating potential of Upper Triassic shale in Xiariha depression with the help of geological survey wells and coalfield drilling. It is held that the Upper Triassic dark mud shale in Xiariha depression has the characteristics of wide distribution, large thickness, medium abundance of organic matter and good hydrocarbon generating potential in Type II and Type III. The content of brittle minerals are much higher in dark mudshale with the clay minerals of illite and chlorite, conducive to the accumulation of adsorbed gas and the formation of aractured fracture. Dark mudstone has good physical properties with mineral pore, secondary dissolution pores, organic pore and micro-fractures well-developed, providing good reservoir conditions. Furthermore, the abnormal indication of core samples suggests that shale gas in South Qilian Basin has hydrocarbon-generating potential and is worth exploring.

Keywords: South Qilian basin; Xiariha depression; Upper Triassic; shale gas; geochemical characteristics; hydrocarbon-generating potential

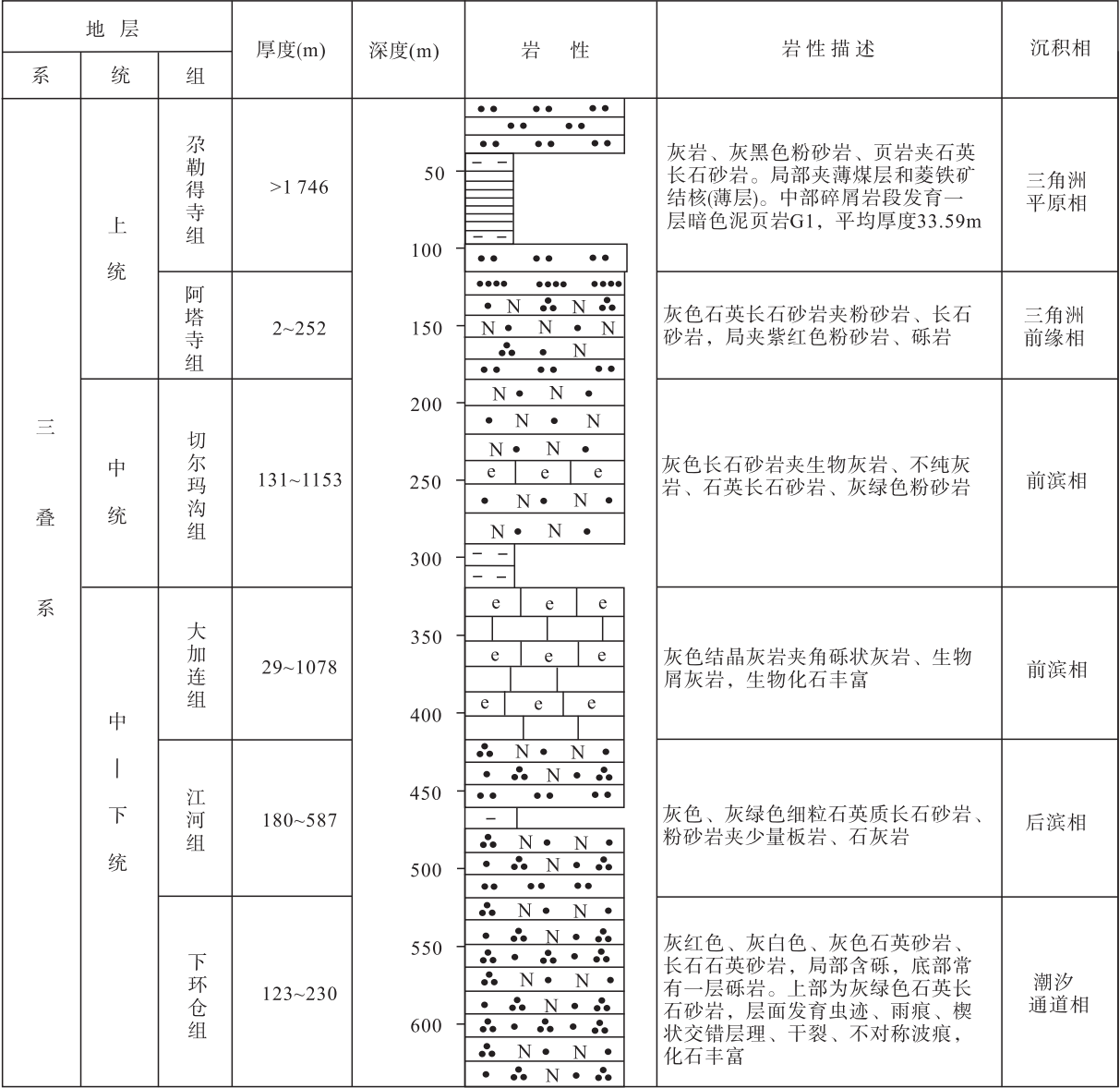
青海省近几年页岩气的勘探和研究主要集中在柴北缘、八宝山、贵德和共和等盆地的石炭纪—侏罗纪、白垩纪、三叠纪展开,针对南祁连盆地地下日哈凹陷三叠纪的研究和勘查工作较少。前人研究表明,南祁连盆地发育石炭系暗色泥(灰)岩、下二叠统草地沟组暗色灰岩、上三叠统尕勒得寺组暗色泥岩和侏罗系暗色泥页岩 4 套烃源岩系,烃源岩质量好,除石炭纪烃源岩有机质已进入过成熟阶段外,其他 3 套烃源岩基本上处于成熟—高成熟阶段(任拥军等, 2001; 谢志清等, 2001; 张国英, 2004; 余琪祥等, 2016)。下日哈凹陷石炭纪和侏罗纪烃源岩不发育; 二叠纪和三叠纪厚度均较大,有机地球化学指标类似,有机质丰度属于低—中等,有机质类型以 II 型、III 型为主,有机质热演化程度均达到成熟—过成熟阶段,都具有一定的生烃潜力和形成页岩气的地质条件(符俊辉等, 2000; 谢其锋等, 2011; 陈建洲等, 2016)。由于工作目的和区域不同,下日哈凹陷三叠纪暗色泥页岩的岩石学、地球化学等特征未能完全反映,一些问题仍需探讨:①针对木里坳陷、疏勒坳陷开展的天然气水合物和常规油气的研究工作较多,而对下日哈坳陷页岩气的调查工作几乎没有(王平康等, 2011; 谭富荣等, 2017)。②受工作的局限性,缺少下日哈坳陷深部样品和储集特征的研究。2018 年以来,青海省地质调查局组织实施了天峻县哈拉湖坳陷、下日哈坳陷页岩气调查评价项目,以二叠纪、三叠纪为主要目的层开展了地表路线调查、钻

探施工、录井、现场解析、样品采集测试等页岩气基础地质调查工作,发现了多套厚度较大、分布较广的暗色泥页岩,在区内开展了页岩气初步评价。笔者依托地表调查工作和地质调查井采集了大量有机地球化学、扫描电镜、X-衍射、现场解吸、储层等样品,通过样品测试分析,对下日哈坳陷三叠纪泥页岩的地球化学特征进行研究,对储集条件进行初步探讨,为青海省南祁连盆地三叠纪页岩气勘查提供基础资料。

1 区域地质背景

研究区位于青海省东南部天峻—刚察地区的下日哈坳陷西南部(图 1)。下日哈坳陷位于南祁连盆地天棚隆起、大通山隆起与阳康隆起之间,北与木里坳陷相连通。呈北西—南东向展布,近似长方形,面积约 5 000 km²。坳陷中沉积盖层主要为中上二叠统、下中三叠统,坳陷北部发育有上三叠统。总体构造形态为一由多个向斜和背斜组成的复式向斜,并伴生有断裂构造。地层倾角较平缓,一般为 20°左右。其构造形式以短轴背斜和向斜及穹式褶皱为主。

研究区地层分区属于祁连地层区的南祁连地层分区。南祁连盆地三叠纪为坳陷盆地,地层沉积发育,它广泛出露于下日哈坳陷,哈拉湖坳陷和木里坳陷,在疏勒坳陷出露较少。包括早—中三叠世郡子河群和晚三叠世默勒群,其中郡子河群发育下环仓组(T₁₋₂xh)、江河组(T₁₋₂j)、大加连组(T₁₋₂d)和



1. 中粒砂岩;2. 粉砂岩;3. 长石砂岩;4. 结晶灰岩;5. 泥岩;6. 页岩

图 2 下日哈地区三叠系综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive histogram of Triassic in Xiariha area

表 1 研究区 Ty1 井简况表
Tab. 1 The wellcondition of Ty1 well

构造位置	目标	完成情况	终孔深度(m)	终孔层位	孔斜(°)	岩芯采取率	工程质量
下日哈凹陷	钻穿上三叠统	上三叠统阿塔寺组未穿	1 558.68	T _{3a}	<5.44	99.88	符合规范要求

注：施工单位：山东省地矿局第六地质大队，2018。

表 2 研究区 Ty1 井上三叠统暗色泥页岩分布统计表
Tab. 2 Distribution statistics of the Upper Triassic mud shale of Ty1 well

序号	层位	岩性	起止深度(m)		厚度(m)
1	T ₃ a	灰黑色泥岩	356	363	7
2		黑色泥岩及粉砂质泥岩	366	390	24
3		深灰色粉砂岩	392	407	15
序号	层位	岩性	起止深度(m)		厚度(m)
4	T ₃ g	黑色粉砂岩	1 376	1 388	12
5		灰黑色泥质粉砂岩	1 390	1 401	11
6		灰色粉砂岩	1 401	1 408	7

3 有机地球化学特征

3.1 有机质丰度

有机质丰度是衡量和评价烃源岩生烃潜力的最重要、最基础的指标。目前常用的有机质丰度指标主要包括总有机碳含量(TOC)、氯仿沥青“A”、总烃含量(HC)和生烃潜力(S1 + S2)等(牟传龙等, 2016)。Ty1 井和地表样品有机碳含量、热解分析和抽提分析表明(表 3),上三叠统 TOC 含量为 0.18%~17.25%,平均为 1.84%,达到中等-好的烃源岩标准;生烃潜力(S1 + S2)为 $0.051 \times 10^{-3} \sim 0.84 \times 10^{-3}$,平均值为 0.171×10^{-3} ,达到差的烃源岩标准;氯仿沥青“A”为 0.003 1%~0.022 5%,平均值为 0.005 7%,为非烃源岩。综合而言,除氯仿沥青“A”指标外,其他 2 项指标均为烃源岩。因此,综合评价认为 Ty1 井烃源岩有机质丰富为中等的烃源岩。

3.2 有机质类型

有机质类型是评价泥页岩质量的主要指标之一,类型不同将会使得烃源岩有机质的生烃潜力和烃类产物产生差别。常用的有机质类型评价指标包括:显微组分分析、干酪根碳同位素、干酪根元素、干酪根抽提产物的族分与饱和烃特征等(梁狄刚等, 2009;陈建平等,2014)。

3.2.1 显微组分分析

显微组分统计结果显示(表 3),烃源岩干酪根有机显微组分相对含量差别较大,腐泥组的相对含量为 2%~78%,且多数大于 10%,以无定型腐泥组为主,其次为藻类体和腐泥碎屑体。镜质组的相对含量为 3%~65%,以无结构镜质体为主,少量为结

构镜质体。惰质组(丝质体)的相对含量分布在 0~50%,7 件样品的丝质体含量大于 15%。壳质组的镜下几乎没有。根据全岩干酪根有机显微组分的相对含量,有机质既有水生低等生物的供给,又有陆源生物的供给,干酪根类型为Ⅱ-Ⅲ型。

3.2.2 干酪根碳同位素

干酪根碳同位素是评价有机质类型的重要指标。 $\delta_{13}\text{C}$ 小于-28‰的为Ⅰ型有机质, $\delta_{13}\text{C}$ 大于-25.5‰的为Ⅲ型有机质, $\delta_{13}\text{C}$ 介于二者之间的为Ⅱ型有机质(黄籍中,1988)。 $\delta_{13}\text{C}$ 组成随演化程度的提高稍有变重的趋势(变化幅度一般不超过 2‰)。

地表井 7 件样品进行干酪根碳同位素分析表明(表 3),其中 6 件样品 $\delta_{13}\text{C}$ 介于-28‰和-25.5‰之间,1 件样品 $\delta_{13}\text{C}$ 大于-25.5‰,表明干酪根以Ⅱ型为主,少量Ⅲ型。Ty1 井 309 件样品干酪根碳同位素分析显示,240 件样品 $\delta_{13}\text{C}$ 为-27.9‰~-25.5‰,20 件样品 $\delta_{13}\text{C}$ 为-29.59‰~-28‰,49 件样品 $\delta_{13}\text{C}$ 为-25.5‰~-24.71‰,表明烃源岩为以Ⅱ型干酪根为主,少量Ⅲ型和Ⅰ型干酪根。

3.2.3 干酪根元素

干酪根元素 H/C 元素与 O/C 元素相关图是判别干酪根类型的最常用的方法。地表和钻孔的 102 件样品结果投在 H/C 和 O/C 相关图上,其中 2 件样品落入Ⅰ型干酪根,10 件样品落入Ⅱ₁区,其余样品落入Ⅱ₂-Ⅲ区,指示该地区为Ⅱ-Ⅲ型干酪根(表 3、图 3)。

综合干酪根类型评价的各项指标,南祁连盆地地下日哈坳陷上三叠统暗色泥页岩总体反映出Ⅱ-Ⅲ型干酪根的特征,与三叠纪为海陆交互相沉积环境一致。

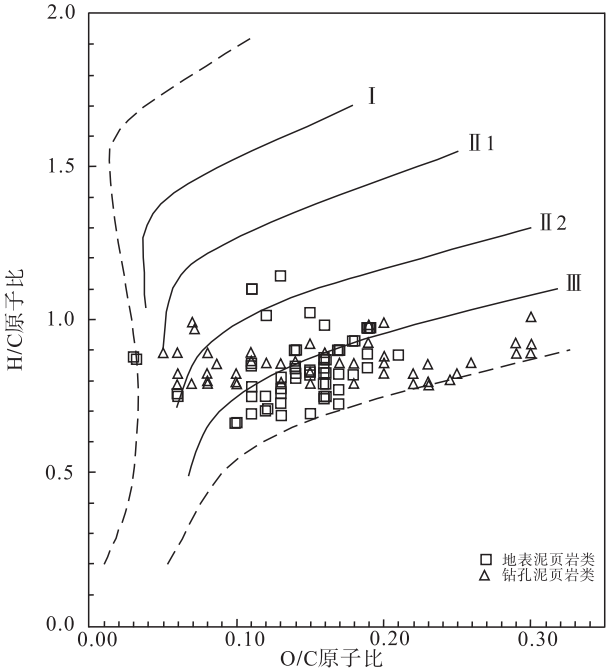


图 3 干酪根 H/C 与 O/C 原子比的关系图
Fig. 3 Correlation of atomic ratios H/C and O/C in the kerogen

3.3 有机质成熟度

3.3.1 镜质体反射率(R_o)

镜质体反射率(R_o)成为目前应用最多而且最为可靠的成熟度指标,其随热演化程度的升高而增大。测得 320 件样品的镜质体反射率(R_o)为 1.65%~4.37%,平均值为 3.5%,烃源岩演化为高成熟-过成熟阶段(表 3)。

3.3.2 最高热解温度(T_{max})

最高热解温度(T_{max})数值的高低与有机质热演化程度密切相关。一般认为, T_{max} 小于 435℃,表明有机质演化未成熟; T_{max} 为 435~440℃,表明有机质演化进入低成熟阶段; T_{max} 为 440~450℃,表明有机质演化成熟; T_{max} 为 450~580℃,表明有机质高成熟; T_{max} 大于 580℃,表明有机质过成熟。

地表取得的 17 件样品的 T_{max} 值处于 319.3~531℃(表 3),其中 12 件样品 T_{max} 小于 435℃,1 件样品 T_{max} 处于 435~440℃,2 件样品 T_{max} 处于 440~450℃,2 件样品 T_{max} 处于 450~580℃,总体烃源岩演化处于低成熟阶段,与镜质体反射率(R_o)检测结果一致。

Ty1 井 283 件样品的 T_{max} 值分布在 258~577℃(表 3),其中 144 件样品 T_{max} 值小于 435℃;

4 件样品 T_{max} 值分布在 435~440℃,处于低成熟阶段;122 件样品的 T_{max} 值为 440~450℃,表明有机质演化成熟;9 件样品 T_{max} 值 $\geq$ 450℃,总体烃源岩处于低成熟-成熟阶段。

4 泥页岩储集特征

4.1 矿物组成

泥页岩中石英、黏土矿物、碳酸盐岩矿物等含量的多少对泥页岩的物性及含气量等有重要的影响。尤其是页岩中黏土矿物的含量与吸附气量具有一定的关系,其中伊利石含量与吸附气含量呈正相关关系,蒙皂石类膨胀性黏土矿物不利于后期的储层(聂海宽等,2009;董大忠等,2009)。

通过下日哈坳陷的地表调查和 Ty1 井上三叠统暗色泥岩矿物组成除常见的黏土矿物(伊利石、绿泥石、伊蒙混层)外,还混杂有石英、长石、方解石、白云石等其他矿物。地表上三叠统暗色泥岩的石英含量为 47%~66%(平均为 54.2%),长石含量为 6%~29%(平均为 16.6%),碳酸盐矿物含量为 6%~11.2%(平均为 8.5%),黏土矿物含量为 21%~44%(平均为 28.1%)(表 4);Ty1 井上三叠统暗色泥岩的石英含量为 21.4%~60%(平均为 47.75%),长石含量为 9.6%~45%(平均为 17.53%),碳酸盐矿物含量为 7%~15.3%(平均为 12.7%),黏土矿物含量为 13%~50.8%(平均为 27%)(表 4);黏土矿物以绿泥石和伊利石为主,含有少量的伊蒙混层,整体上石英、斜长石等脆性矿物的含量较高,黏土矿物含量较低,利于后期的储层改造(张金川等,2004)。

4.2 储集空间特征

暗色泥岩扫描电镜和薄片分析结果显示,研究区上三叠统泥岩矿物粒间孔(图 4a、图 4b)、溶蚀孔(图 4c、图 4g)、有机质孔(图 4e)较发育,能为页岩油气提供良好的储集空间。普通显微镜和高倍扫描电镜下均可观测到微裂缝(图 4d),能为页岩气提供储集空间。

4.3 孔渗特征

Ty1 井上三叠统暗色泥岩的物性较好。41 件样品物性测试结果显示(表 4),气体孔隙度为 0.23%~3.15%,平均为 1.02%,渗透率为 0.000 8 $\times 10^{-3}$ ~0.133 1 $\times 10^{-3}$ μm^2 ,平均为 0.014 5 $\times 10^{-3}$ μm^2

表 3 下日哈坳陷上三叠统泥页岩样品有机地球化学参数统计表

Tab. 3 Organic geochemical parameters of the Upper Triassic mud shale in xiaraha depression

层位	TOC (%)	氯仿沥青“A” (%)	S1+S2 ($\times 10^{-3}$)	Ro (%)	腐泥组 (%)	镜质组 (%)	惰质 组(%)	类型指数 (T)	干酪根同位素 $\delta_{13}\text{C}(\text{‰})$	最高热解 温度(T_{max})	H/C	O/C
地表样品	$\frac{0.20\sim 11.36}{1.86(21)}$	$\frac{0.0031\sim 0.0072}{0.0057(17)}$	$\frac{0.06\sim 0.84}{0.14(17)}$	$\frac{1.65\sim 3.42}{3.02(16)}$	$\frac{2\sim 78}{36.6(20)}$	$\frac{20\sim 59}{28.3(20)}$	$\frac{2\sim 9}{5.1(20)}$	$\frac{-73.75\sim -61}{-12.23(20)}$	$\frac{-27.7\sim -26.9}{-27.13(7)}$	$\frac{319.3\sim 531}{392(16)}$	$\frac{0.66\sim 1.14}{0.82(44)}$	$\frac{0.03\sim 0.21}{0.14(44)}$
井内样品	$\frac{0.18\sim 17.25}{1.72(337)}$	$\frac{0.0042\sim 0.0225}{0.016(337)}$	$\frac{0.051\sim 0.70}{0.168(279)}$	$\frac{2.66\sim 4.37}{3.74(304)}$	$\frac{10\sim 96}{36(304)}$	$\frac{3\sim 65}{33.4(304)}$	$\frac{1\sim 28}{6.3(304)}$	$\frac{-65.25\sim -93}{13.91(46)}$	$\frac{-29.59\sim -24.71}{-26.61(309)}$	$\frac{258\sim 577}{463(258)}$	$\frac{0.691\sim 1.3}{0.86(58)}$	$\frac{0.05\sim 0.5}{0.19(58)}$

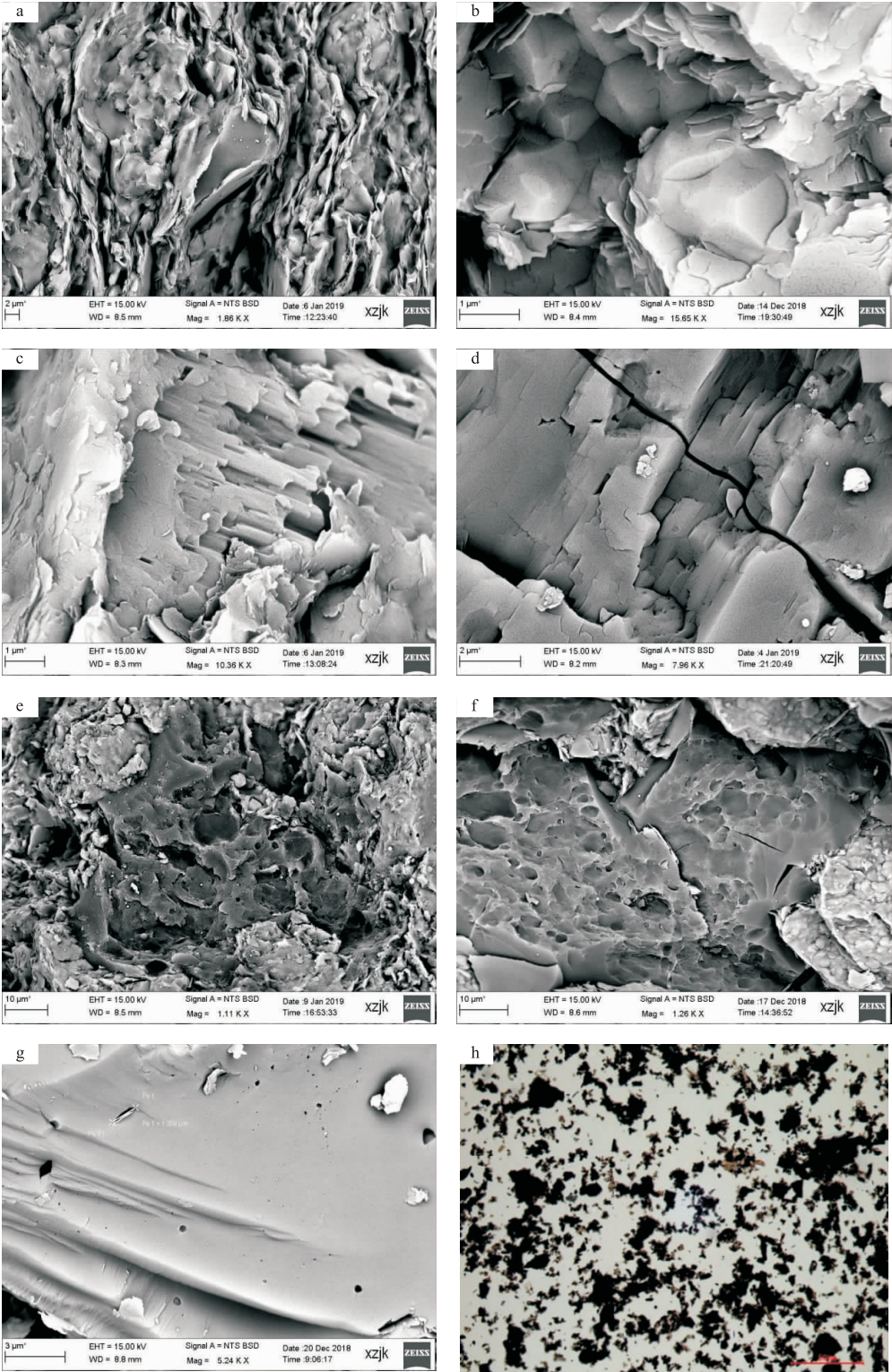
注:(1)测试单位:重庆地质矿产研究院。(2)分子中数字含义为“(最小值~最大值)”,分母中数字含义为“平均值(样品数)”。

表 4 下日哈坳陷上三叠统泥页岩样品矿物组成及物性参数统计表

Tab. 4 Mineral composition parameter and Property statistics of the Upper Triassic mud shale in xiaraha depression

层位	孔隙度 (%)	渗透率 ($10^{-3}\mu\text{m}^3$)	比表面积 (m^2/g)	液氮吸附 (cm^3/g)	石英 (%)	斜长石 (%)	碳酸盐 矿物(%)	黏土矿物 (%)	伊利石 (%)	绿泥石 (%)	伊蒙混层 (%)
地表样品	—	—	—	—	$\frac{47\sim 66}{54.2(17)}$	$\frac{6\sim 29}{16.6(17)}$	$\frac{6\sim 11.2}{8.5(17)}$	$\frac{21\sim 44}{28.1(17)}$	$\frac{23\sim 57}{50.18(17)}$	$\frac{20\sim 53}{32.65(17)}$	$\frac{4\sim 25}{17.18(17)}$
井内样品	$\frac{0.23\sim 3.15}{1.02(41)}$	$\frac{0.0008\sim 0.1331}{0.0145(41)}$	$\frac{2.92\sim 20.74}{6.8(41)}$	$\frac{0.0032\sim 0.034}{0.015(41)}$	$\frac{21.4\sim 60}{47.75(339)}$	$\frac{10\sim 45}{17.53(339)}$	$\frac{7\sim 15.3}{12.7(339)}$	$\frac{13\sim 50.8}{27(339)}$	$\frac{8\sim 42}{40.2(339)}$	$\frac{3\sim 51}{25.91(339)}$	$\frac{2\sim 38}{18.05(339)}$

注:(1)测试单位:重庆地质矿产研究院。(2)分子中数字含义为“(最小值~最大值)”,分母中数字含义为“平均值(样品数)”,“—”表示无数据。



a. 尕勒得寺组石英粒间孔;b. 尕勒得寺组石英与粘土矿物间的粒间孔;c. 尕勒得寺组长石溶蚀孔;d. 尕勒得寺组矿物表面微裂缝;e. 尕勒得寺组有机质孔隙;f. 尕勒得寺组有机质表面铸模孔;g. 尕勒得寺组石英溶蚀孔;h. 尕勒得寺组干酪根镜质组镜检图

图 4 下日哈地区上三叠统泥页岩孔隙类型图

Fig. 4 The types of porosity of the Upper Triassic mud shale in xiaraha depression

(表 5),比表面积为 2.92~20.74 m²/g,平均为 6.8% m²/g,液氮吸附为 0.003 2~0.034 cm³/g,平均为 0.015 cm³/g,总体的物性属于低孔低渗储层,有利于页岩气的吸附。

5 含气特征

Ty1 井气测录井显示三叠系泥岩段有 3 段全烃

气测异常段(表 5),单层厚度为 3~20 m,异常值/背景值平均为 1.2~2.85 倍,最大为 2.25~3.8 倍。Ty1 井三叠系共现场解吸 139 件样品,现场解吸含量为 38.51~506.42 cm³,平均含气量为 0.01~0.43 m³/t,大于 0.10 m³/t 仅有 8 个样品,含气量整体较低。1 201.72~1 201.92 m 水浸试验时,沿层理面有连续串珠状气泡冒出,但气测录井未见异常反应,现场解吸量为 0.04 m³/t,解吸气量较低。

表 5 Ty1 井三叠纪暗色泥岩段全烃气测异常统计表
Tab. 5 Total hydrocarbon logging anomaly statistic of the Upper Triassic mud shale of Ty1 well

层位	岩性	顶深 (m)	底深 (m)	厚度 (m)	背景值	平均异常值	平均异常值/ 背景值	最大异常值	最大异常值/ 背景值
T ₃ g	灰黑色泥质粉砂岩夹薄层细-中粒砂岩	167	187	20	0.2	0.32	1.6	0.45	2.25
T ₃ g	灰黑色泥质粉砂岩与粉砂质泥岩	376	379	3	0.2	0.57	2.85	0.76	3.8
T ₃ a	灰色粉砂岩及泥质粉砂岩	1 394	1 402	8	0.3	0.38	1.27	0.84	2.8

6 结论

- (1)下日哈坳陷地表调查和钻井资料表明,上三叠统泥页岩发育分布广、厚度大、有机质丰度中等、Ⅱ—Ⅲ型干酪根烃源岩,具有一定的生烃潜力。
- (2)干酪根碳同位素、干酪根元素、以及有机质显微组分等指标综合指示研究区上三叠统烃源岩有机质类型为Ⅱ—Ⅲ型,有利于页岩气的生成。
- (3)研究区上三叠统暗色泥岩矿物组成中石英、长石和方解石等脆性矿物的含量较高,有利于页岩的后期压裂改造形成裂缝;暗色泥岩黏土矿物组成以伊利石、绿泥石为主,高岭石含量较低,黏土矿物组成有利于吸附气的聚集。
- (4)上三叠统暗色泥岩物性较好,扫描电镜显示残余原生孔隙、次生溶蚀孔、有机质孔和微裂缝等孔(缝)隙发育,且泥岩中多处见到页岩气显示,表明研究区上三叠统泥岩具有一定的页岩气储集条件。
- (5)研究区上三叠统页岩气的富集主要受沉积环境和构造演化控制,构造相对简单、埋藏适中和靠近沉积中心的地段具备良好的页岩气勘探前景,是南祁连盆地值得探索的油气新领域。

参考文献(References):

任拥军,纪友亮,李瑞雪. 南祁连盆地热水-默勒地区上三叠统可能烃源岩地球化学特征[J]. 西北地质,2001,34(2):75-81.

REN Yongjun,JI Youliang,LI Ruixue,et al. The geochemical characters of the Upper Triassic Potential Hydrocarbon Source Rock in Reshui-muole Area of South Qilian Basin [J]. Northwestern Geology,2001,34(2):75-81.

张国英. 南祁连清水沟一带奥陶纪盐池湾组岩石地层特征[J]. 西北地质,2004,37(1):6-12.

ZHANG Guoying. Characteristics of the Petrology and Stratigraphy in the Qiingshuigou of South Qilianmountains [J]. Northwestern Geology,2004,37(1):6-12.

谢志清,周立发. 南祁连盆地石炭系充填型式分析[J]. 西北地质,2001,34(2):11-15.

XIE Zhiqing,ZHOU Lifa. The Analysis on the filling type of Carboniferous in South Qilian Basin [J]. Northwestern Geology,2001,34(2):11-15.

余琪祥,陈君,余风华. 西北中小型盆地油气资源潜力与勘探领域分析[J]. 西北地质,2016,49(1):224-233.

YU Qixiang,CHEN JUN,YU Fenghua. Hydrocarbon Resource Potential within Middle-and Small-sized Basins

- and Their Exploration Fields in Northwest china[J]. *Northwestern Geology*, 2016, 49(1): 224-233.
- 符俊辉, 周立发. 南祁连盆地三叠纪地层及石油地质特征[J]. *西北地质科学*, 2000, 21(2): 64-72.
- FU Junhui, ZHOU Lifa. Triassic Stratigraphic Provinces of the Southern Qilian Basin and their Petro-geological Features[J]. *Northwest Geoscience*, 2000, 21(2): 64-72.
- 谢其锋, 周立发, 马国福, 等. 南祁连盆地三叠系烃源岩有机地球化学特征[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2011, 47(6): 1034-1040.
- XIE Qifeng, ZHOU Lifa, MA Guofu, et al. Organic Geochemistry of Triassic Source Rocks in the Southern Qilian Basin[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2011, 47(6): 1034-1040.
- 陈建洲, 贺领兄, 刘立波, 等. 青海祁连地区三叠纪泥页岩地球化学特征及储集条件[J]. *地质通报*, 2016, 35(2/3): 273-281.
- CHEN Jianzhou, HE lingxiong, LIU Libo, et al. An analysis of reservoir conditions and geochemical characteristics of the Triassic shale gas in Qilian region, Qinghai Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 2016, 35(2/3): 273-281.
- 谭富荣, 刘世明, 崔伟雄, 等. 木里煤田聚乎更矿区天然气水合物气源探讨[J]. *地质学报*, 2017, 91(5): 1158-1167.
- TAN Furong, LIU Shiming, CUI Weixiong, et al. Origin of Gas Hydrate in the Juhugeng Mining Area of Muli Coalfield[J]. *Acta Geological Sinica*, 2017, 91(5): 1158-1167.
- 王平康, 祝有海, 卢振权, 等. 祁连山冻土区天然气水合物岩性和分布特征[J]. *地质通报*, 2011, 30(12): 1839-1850.
- WANG Pingkang, ZHU Youhai, LU Zhenquan, et al. Gas hydrate in the Qilian Mountain Permafrost and its distribution characteristics[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(12): 1839-1850.
- 牟传龙, 王启宇, 王秀平, 等. 岩相古地理研究可作为页岩气地质调查之指南[J]. *地质通报*, 2016, 35(1): 10-19.
- MOU Chuanlong, WANG Qiyu, WANG Xiuping, et al. A Study of Lithofacies-palaeogeography as a Guide to Geological Survey of Shale Gas[J]. *Geological Bulletin of China*, 2016, 35(1): 10-19.
- 梁狄刚, 郭彤楼, 陈建平, 等. 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(二)南方四套区域性海相烃源岩的地球化学特征[J]. *海相油气地质*, 2009, 14(1): 1-15.
- LIANG Digang, GUO Tonglou, CHEN Jianping, et al. Some Progress on Hydrocarbon Generation and Accumulation in Marine Sedimentary Regions, Southern China (Part 2): Geochemical Characteristics of Four Suits of Regional Marine Source Rocks, South China[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2009, 14(1): 1-15.
- 陈建平, 孙永革, 钟宁宁, 等. 地质条件下湖相烃源岩生排烃效率与模式[J]. *地质学报*, 2014, 88(11): 2005-2032.
- CHEN Jianping, SUN Yongge, ZHONG Ningning, et al. The Efficiency and Modle of Petroleum Expulsion from the Lacustrine Source Rocks within Geological Frame[J]. *Acta Geological Sinica*, 2014, 88(11): 2005-2032.
- 黄籍中. 干酪根的稳定碳同位素分类依据[J]. *地质地球化学*, 1988, (3): 66-68.
- HUANG Guanzhong. Classification Basis of Stable Carbon Isotope of Kerogen [J]. *Geology-geochemistry*, 1988, (3): 66-68.
- 聂海宽, 唐玄, 边瑞康. 页岩气成藏控制因素及中国南方页岩气发育有利区预测[J]. *石油学报*, 2009, 30(4): 484-491.
- NIE Haikuan, TANG Xuan, BIAN Ruikang. Controlling factors for shale gas accumulation and prediction of potential development area in shale gas reservoir of South China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(4): 484-491.
- 董大忠, 程克明, 王世谦, 等. 页岩气资源评价方法及其在四川盆地的应用[J]. *天然气工业*, 2009, 29(5): 33-39+136.
- DONG Dazhoong, CHEN Keming, WANG Shiqian, et al. An evaluation method of shale gas resource and its application in the Sichuan basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(5): 33-39+136.
- 张金川, 金之钧, 袁明生. 页岩气成藏机理和分布[J]. *天然气工业*, 2004(7): 15-18+131-132.
- ZHANG Jinchuan, JIN Zhijun, YUAN Mingsheng. Reservoiring Mechanism of Shale Gas and Its Distribution [J]. *Natural Gas Industry*, 2004(7): 15-18+131-132.