

王怡然, 吴天琦, 田继军, 等. 准噶尔盆地南缘页岩气形成条件与有利区预测[J]. 中国地质, 2016, 43(1): 288-297.

Wang Yiran, Wu Tianqi, Tian Jijun, et al. Formation conditions and favorable exploration zones of shale gas on the southern margin of Junggar Basin[J]. *Geology in China*, 2016, 43(1): 288-297(in Chinese with English abstract).

准噶尔盆地南缘页岩气形成条件与有利区预测

王怡然¹ 吴天琦² 田继军¹ 杨曙光³ 王长江⁴ 张国庆³ 韦波³ 李乐¹ 樊奇¹

(1.新疆大学地质与矿业工程学院, 新疆乌鲁木齐 830046; 2.西南石油大学地球科学与技术学院, 四川成都 510760;
3.新疆煤田地质局, 新疆乌鲁木齐 830001; 4.中国石油测井公司油气评价中心, 陕西西安 710077)

摘要:通过对准噶尔盆地南缘泥页岩分布情况、厚度、面积、总有机碳含量、热演化程度、有机质类型、矿物岩石成分等因素的分析, 确定了准噶尔盆地南缘侏罗系八道湾组、三工河组和西山窑组、二叠系芦草沟组、红雁池组以及石炭系是页岩气发育的有利层位。经过对有利层位的页岩气富集条件分析, 并利用镜质体反射率(R_o)等值线、泥岩厚度等值线和总有机碳含量(TOC)等值线进行叠加的分析方法, 最终确定霍玛吐背斜带西北缘、沙湾凹陷和莫南凸起三者过渡区域的侏罗纪地层, 阜康凹陷与阜康断裂带过渡区域的侏罗纪地层, 柴窝堡坳陷达坂城凹陷和永丰凹陷二叠纪地层埋藏较浅处, 以及齐古断褶带石炭纪地层埋藏较浅处等 4 处为页岩的有利发育区。

关键词:页岩气; 准噶尔盆地南缘; 形成条件; 有利发育区; 地球化学特征

中图分类号: TE132.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2016)01-0288-10

Formation conditions and favorable exploration zones of shale gas on the southern margin of Junggar Basin

WANG Yi-ran¹, WU Tian-qi², TIAN Ji-jun¹, YANG Shu-guang³, WANG Chang-jiang⁴,
ZHANG Guo-qing³, WEI Bo³, LI Le¹, FAN Qi¹

(1. School of Geological and Mining Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China; 2. School of Earth Science & Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan 510760, China; 3. Xinjiang Bureau of Coal Geology, Urumqi 830001, Xinjiang, China; 4. Oil and Gas Evaluation Center, Chinese Oil Well Logging Company, Xi'an 710077, Shaanxi, China)

Abstract: Based on analyzing the distribution, thickness, area, total organic carbon content, thermal evolution, type of organic matter and petrographic composition of the shale on the southern margin of Junggar Basin, the authors hold that the Jurassic Badaowan, Sangonghe and Xishanyao Formation, the Permian Lucaogou Formation, Hongyanchi Formation and the Carboniferous strata are favorable formations for shale gas exploration. Through an analysis of enrichment conditions of favorable horizons of shale gas and by using the method of superimposing vitrinite reflectance (R_o) isoline, mudstone thickness isoline and total organic carbon content (TOC) contour, the authors determined that the Jurassic strata of the transition region of the northwestern margin of

收稿日期: 2014-12-26; 改回日期: 2015-04-16

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技支撑项目(201333108)资助。

作者简介: 王怡然, 男, 1990 年生, 硕士生, 从事沉积与非常规能源的研究工作; E-mail: xjuwyr@sina.cn。

通讯作者: 田继军, 男, 1978 年生, 副教授, 博士, 从事沉积与非常规能源的研究工作; E-mail: tianjijun@xju.edu.cn。

Homato anticline belt, Shawan sag and Monan convex, the Jurassic strata of transition region of Fukang sag and Fukang fracture belt, the Permian strata of Dabancheng sag and Yongfeng sag with shallow buried depth in Chaiwopu depression and the Carboniferous strata of Qigu fault fold zone with shallow buried depth as favorable places for shale gas exploration.

Key words: shale gas; southern Margin of Junggar Basin; formation conditions; favorable exploration area; geochemical characteristics

About the first author: WANG Yi-ran, male, born in 1990, master, mainly engages in the study of sedimentology and unconventional energy, E-mail: xjuwyr@sina.cn.

About the corresponding author: TIAN Ji-jun, male, born in 1978, associate professor, doctor, mainly engages in the study of sedimentology and unconventional energy, E-mail: tianjijun@xju.edu.cn.

Fund Support: Supported by Xijiang Science & Technology Pillar Program(No.201333108).

1 地质概况

研究区位于准噶尔盆地与北天山的盆-山结合部位,自东向西包括阜康断裂带、柴窝堡坳陷、霍玛吐背斜带、齐古断褶带、四棵树凹陷5个三级构造单元,北与昌吉凹陷相接,南邻北天山,东西长500 km,南北宽40~60 km,面积21000 km²(图1)。准噶尔盆地南缘经历了晚石炭世一早二叠世的海相阶段、残留海相前陆盆地阶段、中晚二叠世陆相前陆盆地阶段、中生代振荡型陆内坳陷盆地阶段和新生代再生前陆盆地阶段等4个阶段^[1-3],形成南北分带、东西分块的构造格局。

准噶尔盆地南缘页岩气资源的勘探工作仅仅停留在前期调研阶段,研究成果较少,仅有余祺祥

等^[4]认为,位于准噶尔盆地南缘达坂城凹陷北西的永丰凹陷芦苇沟组埋藏较浅,且泥页岩发育,具有页岩气勘探潜力,芦苇沟组泥页岩具有开展页岩测试的较好条件。本文在综合前人勘探研究成果的基础上,结合近年来对准噶尔盆地南缘页岩气资源的调查与选区研究,分析了准噶尔盆地南缘页岩气资源的分布特征及其良好的勘探前景,划分出准噶尔盆地南缘页岩气分布有利区,并提出了进一步加强页岩气勘探的建议。

2 页岩气形成条件分析

2.1 泥页岩分布及厚度

2.1.1 侏罗系

八道湾组(J₁b)在盆地南缘部分三台至乌鲁木齐

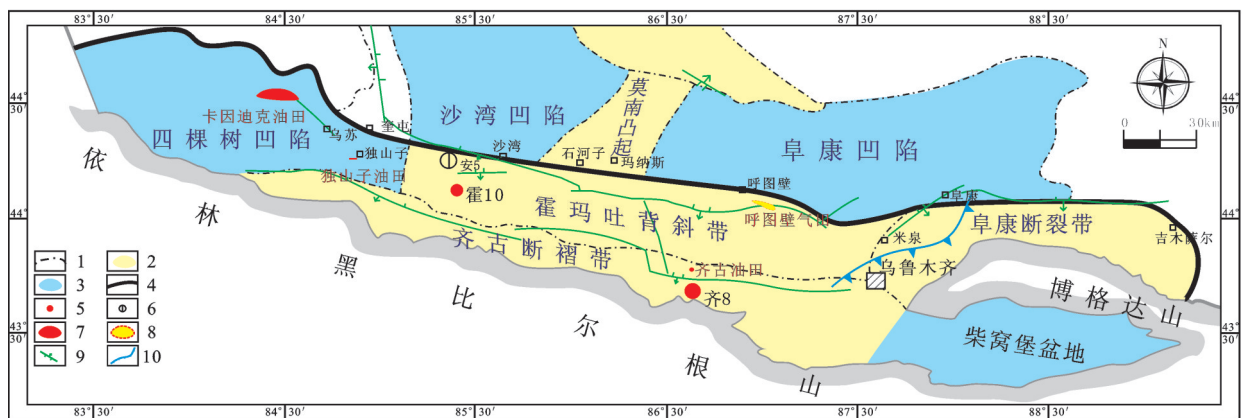


图1 准噶尔盆地南缘构造分区图

1—构造分区线; 2—隆起带; 3—凹陷带; 4—分界线; 5—工业油流井; 6—正试井; 7—探明石油储量;
8—探明天然气储量; 9—断层; 10—地层剥蚀线

Fig. 1 Geographical divisions of southern Margin of Junggar Basin

1-Tectonic division line; 2-Uplift zone; 3-Sag zone; 4-Division line; 5-Industrial oil well; 6-Test well; 7-Proven oil reserves; 8-Proven reserves of natural gas; 9-Fault; 10-Strata denudation line

市两区地段内与三叠系为整合连续过渡关系外,普遍以明显的角度不整合覆于下伏地层之上。该组总体上以发育辫状河-滨浅湖沉积为主以及部分扇三角洲沉积,形成含煤的碎屑沉积。岩性主要由灰白色、灰绿色砂岩、砾岩,灰黑色、灰色泥岩、粉砂岩、炭质泥岩夹煤层、菱铁矿层或透镜体。阜康凹陷、乌鲁木齐以西地区为准噶尔盆地南缘八道湾组地层沉积中心,八道湾组累计生气面积接近 $8 \times 10^4 \text{ km}^2$,为准噶尔盆地南缘天然气的主要气源岩。

三工河组(J_{3s})直接覆于八道湾组地层之上,分布较八道湾组地层更为广阔。该时期准噶尔盆地经历了两次大的湖侵,以三角洲和湖相沉积为主,煤层基本不发育,岩性在全区比较稳定,为灰色、灰绿色泥岩、砂岩、砂砾岩、灰黑色砂质泥岩、黑色炭质泥岩组成,局部夹砾岩、砂砾岩、叠锥灰岩,部分地区夹炭质泥岩或煤线。阜康凹陷为该组沉积中心,有效生气面积较小。

西山窑组(J_{3x})连续堆积在三工河组地层之上,遍布全盆地。为一套湖泊、沼泽相及冲积扇相沉积,岩性为灰绿色、灰白色砂岩、砂砾岩、粉砂质泥岩、黑色炭质泥岩及煤层的韵律交互层。该组为盆地内最发育的含煤层段,沉积中心位于昌吉-玛纳斯一带,富煤中心位于乌鲁木齐附近,盆地南缘煤层累计厚度6.8~151.44 m,总有效生气面积近 10^4 km^2 。

准噶尔盆地南缘中一下侏罗统累计暗色泥岩厚度为400~500 m,其纵横向及区域性展布规律与煤层变化规律一致(图2)。

2.1.2 二叠系

芦草沟组主要为潟湖相沉积,黑-灰黑色,页岩、砂岩、油页岩互层状,夹白云质灰岩,地层厚659.6 m。可分为P₂l¹及P₂l²两个段,与地热地质相关地层为其下段P₂l¹。P₂l¹可分为P₂l¹⁻¹、P₂l¹⁻²、P₂l¹⁻³三个岩性段,P₂l¹⁻¹:灰-灰黑色细砂岩、粉砂岩夹泥岩,真厚约145 m;P₂l¹⁻²:灰黑色、灰褐色粉砂岩、油页岩夹页岩,真厚约100 m;P₂l¹⁻³:灰绿色页岩,堪称保温、隔热岩体,真厚约75 m。P₂l与上覆下三叠统上仓房沟群(T₁chb)呈假整合接触。通过石油钻井测井资料分析,柴窝堡坳陷永丰凹陷具有页岩气勘探的有利条件。小1井位于永丰乡西北,完钻井深3200 m,井下1185.5~1662 m段为中二叠统芦草沟组,钻厚476.5 m,岩性为黑色泥岩、泥页岩、灰色砂质泥岩和灰色砂岩、灰色泥质砂岩等,泥质岩类占地层厚78.5%,单层泥页岩厚度最大达到62 m。

红雁池组主要为潟湖相沉积,灰-灰黑色泥岩,粉砂岩、砂岩,夹白云质灰岩,与上覆下三叠统上仓房沟群(T₁chb)呈假整合接触。红雁池组地层厚760.7 m,暗色泥岩厚456.7 m,暗色泥岩占该组地层总厚度的60.05%。位于达坂城凹陷白杨河构造的Cs1井,在2674~2682 m井段红雁池组(地层重新划分),录井气测异常明显,于2682.17~2685.27 m取心一筒,岩性为灰色砂砾岩夹粉砂质泥岩,岩心出筒时,上部0.25 m岩心冒气^[4]。

2.1.3 石炭系

准噶尔盆地南缘下石炭统以陆源碎屑、火山碎屑及台地相碳酸盐为主,水体浅-略深,具有还原-

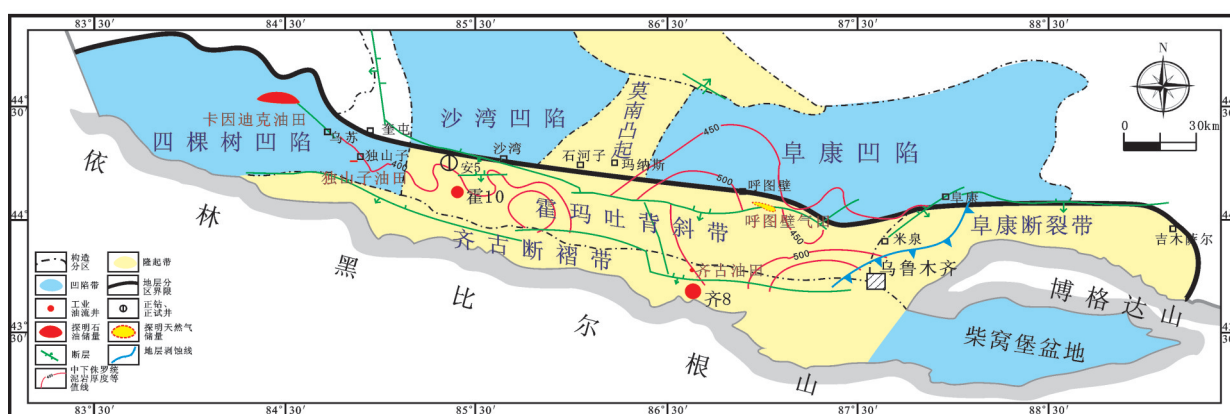


图2 准噶尔盆地南缘中一下侏罗统泥页岩厚度等值线图

Fig.2 Contour map of the thickness of lower-middle Jurassic shale on the southern margin of Junggar Basin

弱还原性, 烃源岩为灰白色泥岩、凝灰岩、钙质泥岩等, 为一套滨海-滨岸-过渡相沉积。晚石炭世早期出现火山活动强烈及相变剧烈的浅海-次深海沉积环境, 以陆源碎屑及火山碎屑浊流沉积为主, 水体较深, 具有强还原性, 烃源岩为黑色泥岩、沉凝灰岩、粉砂质泥岩等^[5]。根据前人资料、野外露头调查和测试分析, 石炭纪烃源岩以暗色泥岩为主, 暗色泥岩厚度为350~600 m(图3)。

2.2 烃源岩地球化学特征

2.2.1 侏罗系

准噶尔盆地南缘中一下侏罗统是一套湖沼相的煤系沉积, 分布范围广, 厚度大。中一下侏罗统八道湾组、三工河组和西山窑组是烃源岩的主要发育层位。其中八道湾组和西山窑组暗色泥岩较发育, 并且发育有炭质泥岩和煤。表1为此次研究区采样分析的TOC数据表, 表2为新疆石油局关于准噶尔盆地地球化学资料整理数据表。

根据总有机碳 TOC 数据可知准噶尔不同地区煤系烃源岩总有机碳含量均值: 西山窑组为 1.55%, 三工河组为 1.32%, 八道湾组为 1.73%(图4)。依据中国陆相生油岩有机质丰度评价标准^[6,7], 八道湾组和西山窑组属于中等烃源岩, 而三工河组属于差烃源岩。

准噶尔盆地南缘侏罗纪地层为陆相沉积环境, 烃源岩中有机质主要来源于陆源高等植物, 因此干酪根氢碳原子比普遍较低(图5)。无论是哪一种源岩, 其氢碳原子比均小于 1.2, 大多数样品为 0.5~1.0, 氧碳原子比主要为 0.05~0.25, 显示出有机质类

型以Ⅲ型和Ⅱ₂型干酪根为主的特点。

南缘地区中侏罗统、下侏罗统八道湾组泥岩干酪根与煤的氢碳原子比一般分别为 0.8~0.9、0.7~1.0, 氧碳原子比分别为 0.07~0.09、0.11~0.20, 均为以Ⅲ型有机质为主, 仅有少量Ⅱ₂型有机质; 下侏罗统三工河组泥岩的氢碳原子比为 0.75~1.1, 而氧碳原子比为 0.10~0.25, 以Ⅲ型干酪根为主, 但有少量Ⅱ₂型有机质; 西山窑组泥页岩与煤的干酪根氢碳原子比一般为 0.6~0.8, 而氧碳原子比分布较散, 比值为 0.07~0.16, 均为Ⅲ型有机质。总体而言, 氢碳原子比较小(小于 1.1), 具有贫氢的特点, 干酪根碳同位素主要分布在 -27‰~-23‰, 少数小于 -27‰, 表现出碳同位素较重的特征。进一步分析可知, 南缘地区三工河组泥岩与八道湾组泥页岩的有机质类型有利于生成页岩气体。

从各类有机质所占比重来看, 中侏罗统西山窑组与下侏罗统三工河组泥岩Ⅲ型有机质的比例均占 92%左右, 下侏罗统八道湾组泥岩Ⅲ型有机质略少(占 80%), 其他类型有机质极少。综上所述, 侏罗系含煤沉积地层中暗色泥岩有机质主要来源于陆源高等植物, 有机质类型普遍以Ⅲ型有机质为主, 对于页岩气的生成是非常有利的。

作为页岩储层系统有机成因气研究的指标, 干酪根的成熟度既可以反映泥页岩的生烃潜能, 还可以作为在高变质地区寻找裂缝性页岩气储层潜能的依据。而埋藏深度与含气页岩的热成熟度(通常用 R_o 来表示)以及埋藏深度有线性关系。准噶尔盆地侏罗系烃源岩埋藏深度变化较大, 所以盆地各部

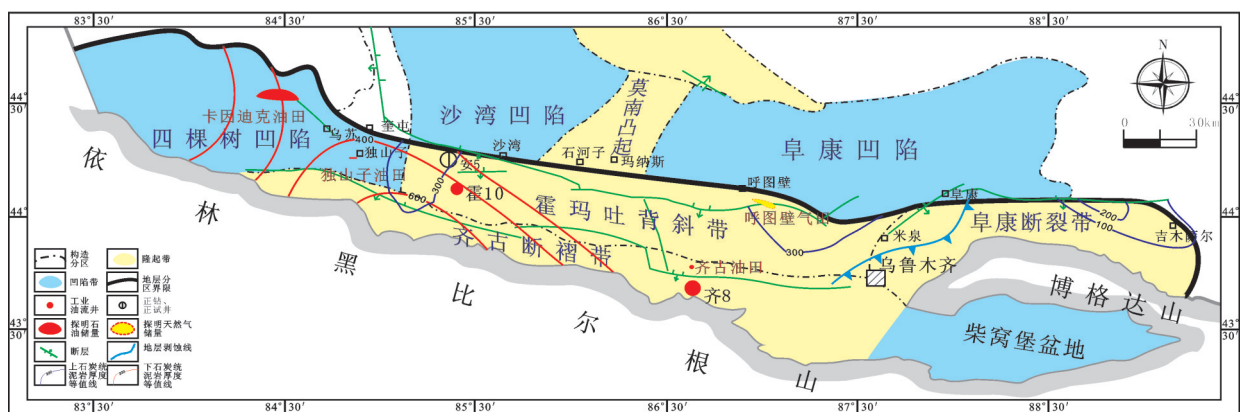


图3 准噶尔盆地南缘石炭统泥页岩厚度图(据文献[5]修改)

Fig.3 Contour map of the thickness of Carboniferous shale on the southern margin of Junggar Basin (modified after reference [5])

表1 准噶尔盆地南缘岩石样品有机碳分析数据
Table 1 Organic carbon analytical data of rock samples from the southern margin of Junggar Basin

样品编号	产地	层位	岩性	TOC	硫含量
				/%	/%
奇台县煤研-①	奇台县煤研	西山窑组	暗色泥岩	3.74	0.0277
气煤1号井-①	淮南煤田	西山窑组	暗色泥岩	0.528	0.0194
气煤1号井-②	淮南煤田	西山窑组	暗色泥岩	1.24	0.222

经历的埋藏演化历史差异也很大。因此, 相同层系烃源岩在不同地区成熟度差异可能也较大。

准噶尔盆地侏罗系八道湾组、三工河组以及西山窑组烃源岩镜质组变化情况见图6, 根据探井清1井和齐8井数据, 可知南缘中部侏罗系烃源岩埋藏深度一般为500~3500 m和700~2050 m, 镜质组反射率基本上为0.5%~0.9%, 其中1900~2000 m平均镜质组反射率小于0.7%, 属于低成熟阶段, 而2000

m 镜质组反射率基本大于0.7%, 属于成熟演化阶段。盆地南缘镜质组反射率 R_o 总体在0.40%~0.9%, 处于低成熟—成熟演化阶段。

2.2.2 二叠系

前人研究表明, 芦草沟组泥岩样品有机碳含量分布区间为1.05%~6.57%, 平均3.85%, 且全部大于1.0%, 为好的烃源岩; 红雁池组泥岩有机碳含量分布范围为0.62%~9.96%, 平均4.90%, 为有效烃源岩。上二叠统芦草沟组与红雁池组烃源岩干酪根的碳同位素值为-24.8‰~-30.8‰ (PDB), 平均-26.58‰ (PDB), 整体呈现出腐殖腐泥型、腐泥腐殖型(II)特征, 综合干酪根的镜检、碳同位素特征及热解参数分析结果表明, 芦草沟组和红雁池组源岩的有机质类型为II型。研究区上二叠统芦草沟组泥岩镜质体反射率分布范围为0.73%~0.85%, 平均0.83%; 红雁池组泥岩镜质体反射率分布范围0.75%~0.82%, 平均0.79%。另外, 研究区上二叠统泥岩样品的 C_{29}

表2 准噶尔盆地南缘中—下侏罗统烃源岩总有机碳含量
Table 2 Total organic carbon content of lower - middle Jurassic hydrocarbon source rocks on the southern margin of Junggar Basin

层位	地层时代	泥/页岩类型	TOC/%			
			范围	均值(样品个数)	煤系均值($\frac{N \times \sum H_{Ni} \times TOC_{Ni}}{H}$)	此次新测数
西山窑组	J _{2x}	泥岩	0.40~5.87	1.42(84)	1.55	10
		炭质泥岩	6.23~37.40	18.19(40)		
三工河组	J _{2s}	泥岩	0.40~3.51	1.04(128)	1.32	
		炭质泥岩	6.03~35.69	17.04(12)		
八道湾组	J _{2b}	泥岩	0.42~5.86	1.68(187)	1.73	
		炭质泥岩	6.29~39.96	21.14(47)		

注: N—统计井数; H_{Ni} —对应井不同层段厚度; TOC_{Ni} —对应井不同层段TOC值; H—对应井泥/页岩总厚度; 此次统计数据井数为20口。

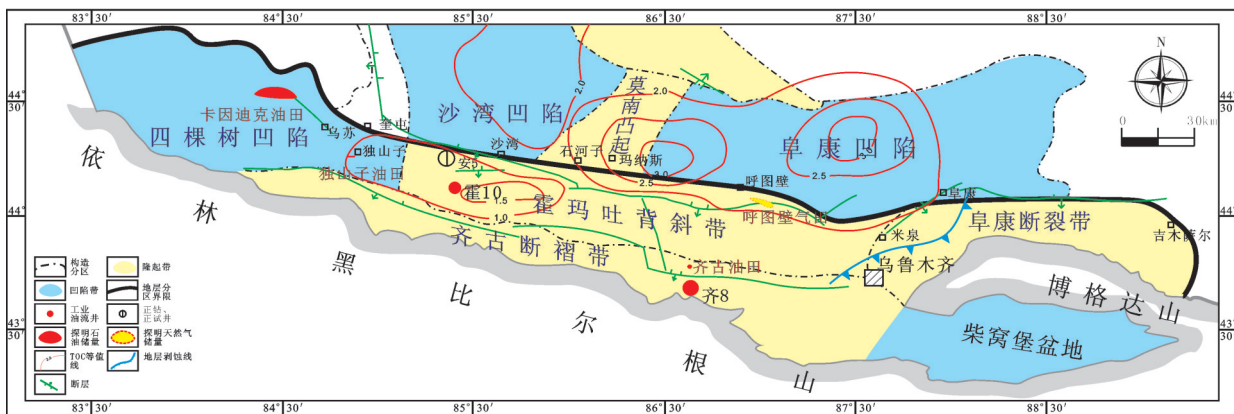


图4 准噶尔盆地南缘中—下侏罗统泥页岩TOC等值线图
Fig.4 Contour map of the TOC value of lower-middle Jurassic shale from the southern margin of Junggar Basin

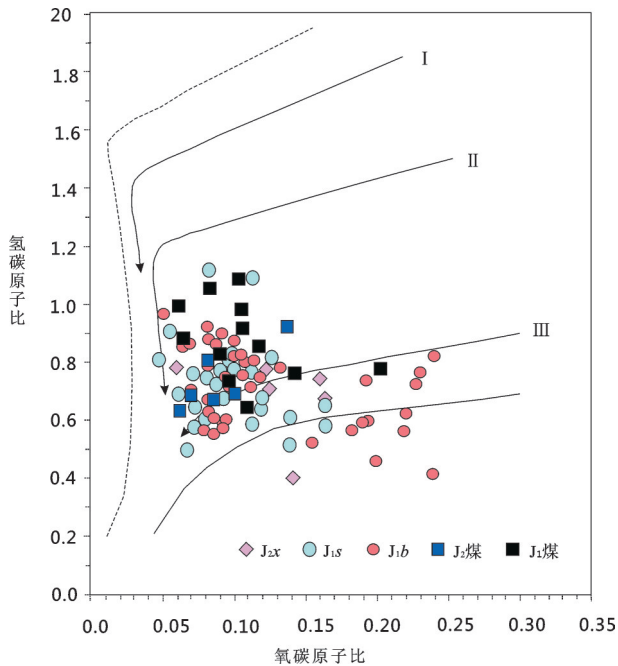


图5 准噶尔盆地侏罗系烃源岩三端元显微组分组成图(据文献[8]修改)

Fig.5 Composition of 3-end-number maceral of Jurassic hydrocarbon source rocks on the southern margin of Junggar Basin (modified after reference [8])

甾烷 20S/20(S+R)值普遍大于 0.42, 较接近于该参数的平衡终点, 而 C₂₉ 甾烷 ββ/(ββ+αα)值处于 0.29~0.47, 据 Peters & Moldowan^[9], 可以推断上二叠统有机质演化已进入成熟阶段^[10] (图 7)。

2.2.3 石炭系

石炭系页岩在准噶尔盆地有机碳质量分数最

高, 其中碳质泥岩有机碳分布范围为 11.51%~18.19%, 平均 15.72%, Ro 分布在 0.51%~1.83%, 平均 1.07%, 主要处于成熟-高成熟阶段^[11]。准噶尔盆地南缘在北天山一带烃源岩 TOC 值平均可达 0.99%, 前人研究表明, 滴水泉地区岩石 Ro 值在 1.30%~1.67%, 平均为 1.58%, T_{max} 大致在 460℃ 左右, 可见滴水泉组烃源岩热演化程度总体上处于湿气阶段^[5]。准噶尔盆地南缘石炭系地层 TOC、Ro、T_{max} 大体上与滴水泉地区一致, 据此可推断准噶尔盆地南缘石炭系地层烃源岩热演化程度处于湿气阶段, 有利于页岩气的生成。

2.3 泥页岩储层特征

由于页岩气藏的特殊性, 其成藏规律不同于其他常规气藏, 具有“原地”成藏和“连续”的特征^[12,13]。页岩既是源岩也是储层, 同时也可以是圈闭和盖层。气体在页岩储层中主要以游离状态在天然裂缝中赋存以及以吸附状态在有机质或矿物固体颗粒表面赋存^[14,15]。根据北美页岩气勘探经验来看, 在勘探中除了要寻找资源量可观的烃源岩层以外^[16], 页岩气的勘探必须强调储集条件, 储集条件是制约页岩气勘探和开发的重要因素之一^[17,18]。因此勘探目标是富含有机质, 黏土矿物、硅质含量高和石英等脆性矿物较发育的烃源岩。

2.3.1 矿物组成特征

此次在准噶尔盆地南缘采集的样品为中侏罗统西山窑组和二叠系芦草沟组, 经全岩 X 衍射分析, 泥/页岩的矿物主要以黏土矿物和石英为主, 尤

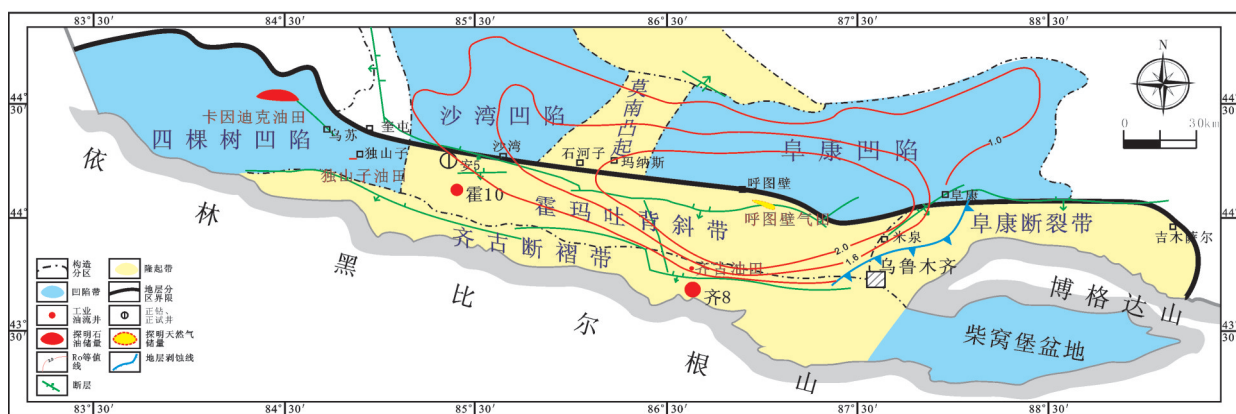


图6 准噶尔盆地南缘中一下侏罗统泥页岩镜质组反射率等值线图(据文献[8]修改)

Fig.6 Contour map of the vitrinite reflectance of lower-middle Jurassic shale on the southern margin of Junggar Basin (modified after reference [8])

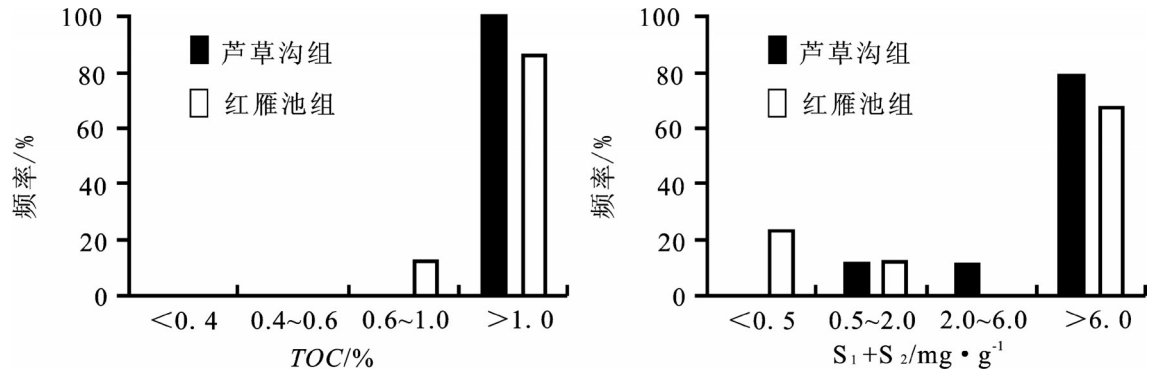


图7 上二叠统泥页岩有机质丰度直方图(据文献[10]修改)

Fig.7 Histogram of the organic matter abundance of upper Permian shale on the southern margin of Junggar Basin (modified after reference [10])

表3 准噶尔盆地南缘全岩X衍射分析数据

Table 3 X-ray diffraction analysis data of whole rock on the southern margin of Junggar Basin

样品编号(岩性)	层位	全岩定量分析%						
		粘土总量	石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	菱铁矿
24-21-①	西山窑组	25	75					
奇台县煤矿-①	西山窑组	52	42	3	3			
淮南煤田气煤1号井-①	西山窑组	17	36		7		36	4
大黄山剖面-①(钙质页岩)	芦草沟组	3	62			35		
大黄山剖面-②(钙质页岩)	芦草沟组	63	15			22		
红雁池剖面-①(钙质页岩)	芦草沟组	75	10			15		
红雁池剖面-②(细粒钙质岩屑砂岩)	芦草沟组	47	46		7			

以石英居多,方解石含量以现有样品来看较少;白云岩则在淮南煤田气煤一号井较多,具体见表3。

与美国五大页岩相比,准噶尔盆地中侏罗统西山窑组和二叠系芦草沟组的黏土矿物含量相对偏高,有利于气体的吸附^[14]。随着埋深的增加以石英为主的脆性矿物含量增高,有利于后期的压裂改造。

2.3.2 岩石孔隙结构特征

泥页岩中发育的孔隙多属于中孔到微孔,通过场发射扫描电镜观察泥页岩的孔隙类型,物理测试与扫描电镜结合使用不仅可以直接得出孔隙的大小,同时也弥补了光学显微镜焦深小、分辨能力低的不足,可以直接观察孔隙的类型、大小和结构等^[19]。对准噶尔盆地采集的泥页岩样品进行的电子显微镜观察分析表明,淮南黑色页岩孔隙主要包括含晶间孔、粒间孔隙、粒间溶蚀孔隙、溶蚀粒内孔、气胀孔、填隙物内孔和微裂隙等类型,微孔隙常呈蜂窝状,在奇台县煤矿所采集的样品有机质内部有几百个纳米的孔径,具备

较好的油气储集空间(图8)。

2.3.3 物性特征

准噶尔盆地南缘地层主要为三角洲-湖泊、滨湖-沼泽交互沉积^[20,21]。据淮南气煤1号井西山窑组暗色页岩测试孔隙度为1.4%,渗透率为 $0.0085 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,探井的岩心及野外露头剖面观察显示,泥页岩的页理和裂缝较发育,可以作为页岩气储集空间,从上述结果可以看出准噶尔盆地南缘泥岩具有较高的孔隙度和页岩气储集能力。

3 页岩气富集规律分析

目前北美产气页岩主要发育在海相地层中^[22,23],有机质类型以I、II型为主,产气页岩的基本特征是泥岩单层厚度大、分布范围广,有机碳含量和热演化程度较高,页岩物性好、含气量大,脆性矿物含量高^[24-27]。结合露头地质调查及实验测试等资料,掌握页岩沉积相特点、构造模式、页岩地化指标及储

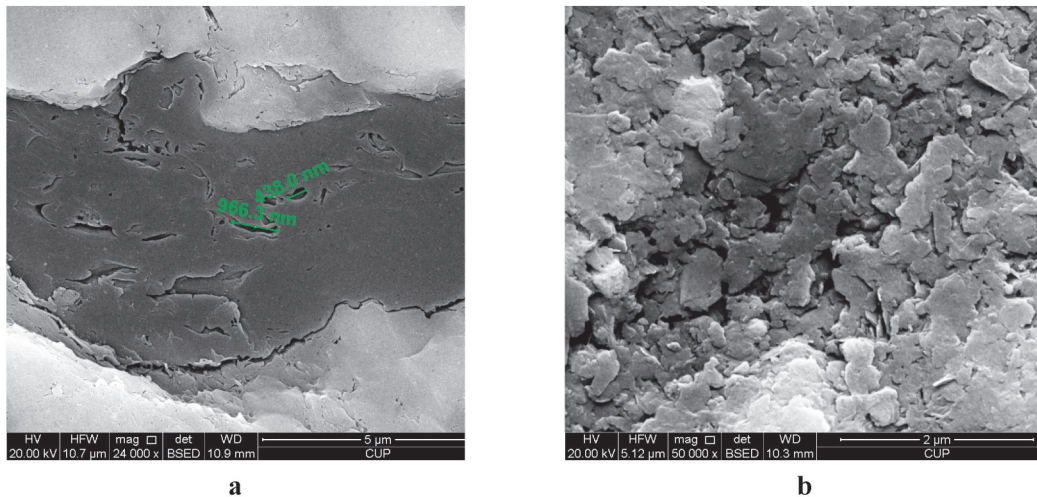


图8 准噶尔盆地南缘泥页岩孔隙特征图

a—奇台县煤矿样品孔隙特征; b—气煤1号井样品孔隙特征

Fig. 8 Shale pore features of the southern margin of Junggar Basin

a—Qitai County coal sample pore characteristics; b—Qimei No. 1 well sample pore characteristics

集特征等参数,参考国内外页岩气评价的一般标准:①埋深浅于3500 m;②有机碳大于1%;③成熟度在1.0%~1.5%;④富有机质源岩集中发育,单层厚度大于15 m;⑤含气量大于1.0 m³/t;⑥硅质含量大于35%,脆性矿物含量大于50%^[28]。

根据以上标准,综合分析准噶尔盆地南缘泥页岩特性可以看出:①准噶尔盆地南缘各个层位泥页岩厚度普遍大于300 m;②准噶尔南缘盆地泥页岩总有机碳含量TOC大于1.0%;③准噶尔盆地南缘泥页岩干酪根类型以Ⅱ~Ⅲ型为主;④准噶尔盆地南缘泥页岩热成熟度Ro在1%左右,大部分处于低成熟生物气或成熟-高成熟热解气阶段;⑤准噶尔盆地南缘泥页岩脆性矿物以石英为主,平均含量为40.85%,黏土矿物含量略高,平均含量为40.28%。

综上所述,与国内外页岩气评价的一般标准相比,准噶尔盆地泥页岩具有厚度大、有机质丰度高、热演化成熟度略低、脆性矿物含量适中、黏土矿物含量略高的特征,具有良好的勘探前景。

4 有利发育区预测

准噶尔盆地侏罗系八道湾组、三工河组、西山窑组,二叠系芦草沟组、红雁池组和石炭系中广泛分布富含有机质的泥页岩,这些泥页岩厚度较大、热演化程度适中,具有可观的生烃能力,是有效的烃源岩。

选区方法可以基于页岩分布、地化特征及含气性等研究,采用多因素叠加、综合地质评价、地质类比等多种方法,开展页岩气有利区优选^[29-31]。

侏罗纪地层有利区分布在霍玛吐背斜带北缘与沙湾凹陷、莫南凸起过渡区域以及阜康凹陷与阜康断裂带过渡区域,泥页岩纵横向展布连续,以厚度大(普遍大于300 m)、成熟度高、总有机碳含量大(大于2.0%)、脆性矿物含量高为主要特点;且地下条件较好,并有较厚的上覆地层,保存条件较好。

二叠系芦草沟组、红雁池组地层富有机质泥页岩厚度大于400 m,有机碳TOC含量大于1.0%,成熟度Ro分布在0.73%~0.85%,处于成熟阶段。二叠系地层有利区分布在盆地柴窝堡坳陷达坂城凹陷和永丰凹陷等区域,但埋藏深度不宜太大,否则没有经济价值。

石炭系地层富有机质泥页岩厚度在350~600 m,有机碳TOC值平均可达0.99%,成熟度Ro平均1.07%,主要处于成熟-高成熟阶段,有利区分布于齐古断褶带。

5 结论

(1)准噶尔盆地石炭系,二叠系芦草沟组、红雁池组和侏罗系八道湾组、三工河组、西山窑组暗色泥页岩有机碳含量高、热演化较成熟、生烃潜力较大、裂缝发育、吸附能力强、泥页岩段气测录井异

常,显示出暗色泥页岩段具有良好的页岩气资源潜力。

(2)准噶尔盆地侏罗系八道湾组、三工河组、西山窑组页岩气的有利发育区位于准噶尔盆地南部地区,其中霍玛吐背斜带北缘与沙湾凹陷、莫南凸起过渡区域以及阜康凹陷与阜康断裂带过渡区域是最有利发育区,向外围泥页岩气的潜力逐渐变小。二叠系芦草沟组、红雁池组有利发育区在柴窝堡拗陷达坂城凹陷和永丰凹陷等区域的埋藏深度较浅处。

(3)准噶尔盆地南缘石炭纪地层页岩气有利的发育区经推测为齐古断褶带,但测井资料较缺乏,建议对该套地层进行进一步的勘探。

致谢: 审稿专家及编辑部杨艳老师对论文提出了宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

参考文献(References):

- [1] 孙自明,何治亮,牟泽辉. 准噶尔盆地南缘构造特征及有利勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 216-221.
Sun Ziming, He Zhiliang, Mou Zehui. Structural features and favorable exploration areas in southern margin of Junggar basin[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 216-221(in Chinese with English abstract).
- [2] 汪新伟,汪新文,刘剑平,等. 准噶尔盆地南缘褶皱逆冲断层带分析[J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 411-421.
Wang Xinwei, Wang Xinwen, Liu Jianping, et al. Analysis of the fold-thrust zone in the southern Junggar Basin, northwestern China[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(4): 411-421(in Chinese with English abstract).
- [3] 卢华复,王胜利,贾承造. 准噶尔盆地南缘新生代断裂的形成机制[J]. 地学前缘, 2007, 14(4): 168-174.
Lu Huafu, Wang Shengli, Jia Chengzao. The mechanism of the southern Junggar Cenozoic thrusts[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(4): 168-174(in Chinese with English abstract).
- [4] 余琪祥,曹倩,路清华,等. 准噶尔盆地非常规油气资源分布特征及勘探前景[J]. 勘探地球物理进展, 2011, 1(4): 66-72.
Yu Qixiang, Cao Qian, Lu Qinghua, et al. The distribution characteristics and exploration prospect of the unconventional hydrocarbon resources in Junggar basin[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2011, (4): 66-72(in Chinese with English abstract).
- [5] 何登发,陈新发,况军,等. 准噶尔盆地石炭系烃源岩分布与含油气系统[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(4): 397-408.
He Dengfa, Chen Xinfu, Kuang Jun, et al. Distribution of Carboniferous source rocks and petroleum systems in the Junggar Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(4): 397-408(in Chinese with English abstract).
- [6] 黄第藩,李晋超,周翥虹,等. 陆相有机质演化和成烃机理[M]. 北京:石油工业出版社,1984.
Huang Difan, Li Jinchao, Zhou Zhuhong, et al. Terrestrial Organic Matter Evolution and Hydrocarbon Generation Mechanism[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1984(in Chinese with English abstract).
- [7] 胡见义,黄第藩. 中国陆相石油地质理论基础[M]. 北京:石油工业出版社,1991.
Hu Jianyi, Huang Difan. The Theoretical Basis of China Continental Petroleum Geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991(in Chinese with English abstract).
- [8] 郭继刚,王绪龙,庞雄奇,等. 准噶尔盆地南缘中下侏罗统烃源岩评价及排烃特征[J]. 中国矿业大学学报, 2013, 42(4): 595-605.
Guo Jigang, Wang Xulong, Pang Xiongqi, et al. Evaluation and hydrocarbon expulsion characteristics of the Middle-Lower Jurassic source rock in the southern margin of Junggar basin[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2013, 42(4): 595-605.
- [9] Peters K E, Moldowan J M. 生物标记化合物指南——古代沉积物和石油中分子化石的解释[M]. 姜乃煌译. 北京:石油工业出版社,1995.
Peters K E, Moldowan J M. Biomarker Guide—Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments Explanation[M]. Jiang Naihuang (trans.). Beijing: Petroleum Industry Press, 1995(in Chinese with English abstract).
- [10] 徐耀辉,文志刚,唐友军. 准噶尔盆地南缘上二叠统烃源岩评价[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2007, 29(3): 20-22.
Xu Yaohui, Wen Zhigang, Tang Youjun. Evaluation on upper Permian hydrocarbon source rock in the southern margin of Junggar Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2007, 29(3): 20-22(in Chinese with English abstract).
- [11] 曾维特,丁文龙,张金川,等. 中国西北地区页岩气形成地质条件分析[J]. 地质科技情报, 2013, 32(2): 140-148.
Zeng Weite, Ding Wenlong, Zhang Jinchuan, et al. Analysis of geological controls on shale gas accumulation in northwest China[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(4): 139-150(in Chinese with English abstract).
- [12] 张金川,徐波,聂海宽,等. 中国页岩气资源勘探潜力[J]. 天然气工业, 2008, 28(6): 136-141.
Zhang Jinchuan, Xu Bo, Nie Haikuan, et al. Exploration potential of shale gas resources in China[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(6): 136-140(in Chinese with English abstract).
- [13] 滕吉文,刘有山. 中国页岩气成藏和潜在产能与对环境的污染分析[J]. 中国地质, 2013, 40(1): 1-30.
Teng Jiwen, Liu Youshan. An analysis of reservoir formation, potential productivity and environmental pollution effect of shale gas in China[J]. Geology in China, 2013, 40(1): 1-30(in Chinese with English abstract).

- [14] Scott L. Montgomery, Daniel M. Jarvie, Kent A. Bowker, et al. Mississippian Barnett shale, Fort Worth basin, north-central Texas: Gas-shale play with multi-trillion cubic foot potential[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(2): 155-175.
- [15] 李新景, 吕宗刚, 董大忠, 等. 北美页岩气资源形成的地质条件[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 27-32.
Li Xinjing, Lv Zonggang, Dong Dazhong, et al. Geologic control on accumulation of shale gas in North America[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5): 27-32(in Chinese with English abstract).
- [16] Curtis J. B. Fractured shale-gas systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921-1938.
- [17] 汪凯明. 桂中拗陷泥盆系页岩气成藏条件浅析[J]. 中国地质, 2013, 40(2): 430-438.
Wang Kaiming. Shale gas accumulation conditions of Devonian strata in Guizhong depression[J]. Geology in China, 2013, 40(2): 430-438(in Chinese with English abstract).
- [18] 卢炳雄, 郑荣才, 梁文西, 等. 四川盆地东部地区大安寨段页岩气(油)储层特征[J]. 中国地质, 2014, 41(4): 1387-1398.
Lu Bingxiong, Zheng Rongcai, Liang Wenxi, et al. Characteristics analysis of Da'anzhai shale gas (oil) reservoirs in eastern Sichuan Basin[J]. Geology in China, 2014, 41(4): 1387-1398(in Chinese with English abstract).
- [19] 焦淑静, 韩辉, 翁庆萍, 等. 页岩孔隙结构扫描电镜分析方法研究[J]. 电子显微学报, 2010, 31(5): 432-436.
Jiao Shujing, Han Hui, Weng Qingping, et al. Scanning electron microscope analysis of porosity in shale[J]. Journal of Chinese Electron Microscopy Society, 2012, 31(5): 432-436(in Chinese with English abstract).
- [20] 宋岩, 戴金星, 孙永祥, 等. 准噶尔盆地南缘西部天然气地质特征及有利气聚集带预测[J]. 石油勘探与开发, 1993, 20(1): 48-54.
Song Yan, Dai Jingxing, Sun Yongxiang, et al. Geologic characteristics of natural gas and a prediction of the best accumulation zones in western part of southern margin of Junggar Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 1993, 20(1): 48-54(in Chinese with English abstract).
- [21] 彭雪峰, 田继军, 汪立今, 等. 新疆准噶尔盆地南缘八道湾组沉积特征与聚煤规律[J]. 中国地质, 2010, 37(6): 1672-1681.
Peng Xuefeng, Tian Jijun, Wang Lijing, et al. Sedimentary characteristics and coal-accumulation pattern analysis of Badaowan Formation in southern margin of Junggar Basin, Xinjiang[J]. Geology in China, 2010, 37(6): 1672-1681(in Chinese with English abstract).
- [22] Bowker K. A. Barnett Shale gas production, Fort Worth Basin: Issues and discussion[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 523-533.
- [23] Schmoker J. W. Determination of organic matter content of Appalachian Devonian shales from gamma ray logs[J]. AAPG Bulletin, 1981, 65(7): 1285-1298.
- [24] Hill D. G., Lombardi T. E., Martin J. P. Fractured shale gas potential in New York[J]. Northeastern Geology and Environmental Sciences, 2004, 26(1/2): 57-78.
- [25] Claypool G. E., Stone A. W. Organic carbon content of Devonian black shale sequence sampled in drill cuttings from eighteen wells in western Pennsylvania. //U. S. Geol. Sur. Open-File Rep. No. 79-1665[R]. Virginia: U. S. Geol. Sur. 1979: 10.
- [26] Gale J. F. W., Reed R. M., Holder J. Natural fractures in the Barnett Shale and their importance for hydraulic fracture treatments[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 603-622.
- [27] Ross D. J. K., Bustin R. M. Shale gas potential of the Lower Jurassic Gordondale Member northeastern British Columbia, Canada[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 2007, 55(1): 51-57.
- [28] 程鹏, 肖贤明. 很高成熟度富有机质页岩的含气性问题[J]. 煤炭学报, 2013, 38(5): 738-741.
Cheng Peng, Xiao Xianming. Gas content of organic-rich shales with very high maturities[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(5): 738-741(in Chinese with English abstract).
- [29] 张大伟, 李玉喜, 张金川, 等. 全国页岩气资源潜力调查评价[M]. 北京: 地质出版社, 2012.
Zhang Dawei, Li Yuxi, Zhang Jinchuan, et al. The Potential of Shale Gas Resources Survey and Evaluation[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2012(in Chinese with English abstract).
- [30] 邱小松, 胡明毅, 胡忠贵, 等. 页岩气资源评价方法及评价参数赋值——以中扬子地区五峰组—龙马溪组为例[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 2091-2098.
Qiu Xiaosong, Hu Mingyi, Hu Zhonggui, et al. Evaluation methods and parameter assignments of shale gas resources: A case study of the Wufeng-Longmaxi Formation in the Middle Yangtze region [J]. Geology in China, 2014, 41(6): 2091-2098(in Chinese with English abstract).
- [31] 黄羚, 徐政语, 王鹏万, 等. 桂中拗陷上古生界页岩气资源潜力分析[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 497-506.
Huang Ling, Xu Zhengyu, Wang Pengwan, et al. An analysis of resource potential of Upper Paleozoic shale gas in Guizhong depression[J]. Geology in China, 2012, 39(2): 497-506(in Chinese with English abstract).