

阿尔金山南缘山前侏罗系页岩气地质特征

李伟奇¹, 康志宏^{1,2}, 周磊¹, 童雪飞¹, 皇甫静静¹

(1. 中国地质大学(北京) 能源学院, 北京 100083; 2. 中国地质大学 页岩气勘查与评价国土资源部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 阿尔金山南缘山前侏罗系泥页岩发育, 但页岩气勘探尚未涉及。以野外地质调查和岩心观察描述为基础, 通过采样分析测试, 厘定了阿尔金山前侏罗系泥页岩层段的分布和有机地化特征, 识别出了有效页岩的赋存层位和分布区域。发育于半深湖环境的大煤沟组, 是侏罗系泥页岩层段的主体, 沿山前呈 NE-SW 向条带状展布。泥页岩总有机碳含量主要分布于 1.00%~5.19%, 有机质成熟度主要分布于 1.11%~2.87%, 有机质类型以 II₁-II₂ 型为主。借鉴北美经验, 认为山前大煤沟组泥页岩层厚较大, 有机质丰度高, 类型和热演化阶段适宜生气, 页岩气发育的地质条件较好; 月牙山区带、黑石山—三脚架区带、柴水沟—清水河区带以及茫崖 1 号沟区带为 4 个页岩气有利区。

关键词: 页岩气; 地质特征; 有机地化; 侏罗系; 阿尔金山前

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Geological characteristics of the Jurassic shale gas play in the frontal area of the southern Altun Tagh

Li Weiqi¹, Kang Zhihong^{1,2}, Zhou Lei¹, Tong Xuefei¹, Huangfu Jingjing¹

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory for Shale Gas Exploration and Assessment, Ministry of Land and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The Jurassic shales were deposited in the frontal area of the southern margin of the Altun Tagh, but shale gas exploration or assessment has not been carried out. Some samples have been analyzed and tested using field geological surveys and core observation and description to determine the distribution and organic geochemical characteristics of shale layers in the Jurassic. Also the occurrence and distribution of effective shales in the frontal area of the Altun Tagh were identified. The Dameigou Formation, which forms the majority of the Jurassic shale layers, developed in a semi-deep lacustrine environment and shale was distributed in the NE-SW direction along the frontal area. Total organic carbon (TOC) ranges from 1.00% to 5.19% for high organic matter abundance, the organic matter maturity (R_o) varies from 1.11% to 2.87%, and the organic matter is dominated by type-II₁ kerogen to type-II₂ kerogen. The shale layers of the Dameigou Formation in the frontal area are thick, the abundance of organic matter is high, the type and the thermal evolution stage are favorable to produce gas, and comparison with North American deposits suggests that the geological conditions to accumulate shale gas are good. There are four favorable exploration targets for shale gas, including Yueyashan, Heishishan-Sanjiaojia, Chaishuigou-Qingshuihe, and Mangya areas.

Key words: shale gas; geological condition; organic geochemistry; Jurassic; frontal area of the Altun Tagh

页岩气指聚集在富有机质泥页岩层段的非常规天然气, 赋存状态以吸附和游离为主, 自生自储, 成藏机理复杂^[1-3]。北美页岩气开发实践, 促使我国深入研究海相泥页岩的成藏机理, 并率先在四川盆地取得突破, 随之陆相盆地页岩气也逐渐受到关注^[4-6]。柴达木盆地西部阿尔金山南缘山前地区,

侏罗系泥页岩等碎屑细粒沉积发育较好^[7], 沿山前呈 NE-SW 向条带状展布, 页岩气资源前景令人期待。然而, 阿尔金山前页岩气系统研究缺乏。本文旨在通过对阿尔金山前侏罗系泥页岩层段的页岩气地质特征的研究, 为柴达木盆地页岩气进一步勘探部署, 乃至西北陆相页岩气勘探提供科学依据。

收稿日期: 2015-05-27; 修订日期: 2016-01-04。

作者简介: 李伟奇 (1989—), 男, 硕士研究生, 矿产普查与勘探, 石油地质方向。E-mail: dqpilwq@126.com。

通讯作者: 康志宏 (1966—), 男, 教授级高级工程师, 从事石油地质研究工作。E-mail: kangzh98@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41272132) 和中国地质调查局地质调查项目 (12120113040000) 资助。

1 区域地质背景

阿尔金山南缘山前位于柴达木盆地西部拗陷区^[8],中、下侏罗统泥页岩广泛出露,主要出露于月牙山、黑石山、柴水沟—清水河一线以及茫崖1号沟等地区,超覆尖灭于山前^[9-10]。

阿尔金山前侏罗纪地层从老到新发育小煤沟组(J_1x)、大煤沟组(J_2d)、采石岭组(J_3c)和红水沟组(J_3h)。中侏罗世早巴通期以前,温暖、潮湿环境形成了由砾岩、砂岩、碳质页岩、煤层等构成的碎屑沉积,含植物化石,主要发育在阿拉尔、铁木里克、七个泉、小梁山、红沟子等构造带内,向阿拉尔方向变厚。晚巴通期后,杂色岩系发育于干旱气候,自南向阿尔金山前加厚^[11]。

2 泥页岩发育特征

阿尔金山南缘中生界露头,沿阿尔金山前呈NE-SW向条带状断续出露,本文主要讨论的是中、下侏罗统泥页岩层段。前人研究表明,页岩气的范畴涉及页岩、泥岩以及泥页岩中诸如粉砂岩等的薄夹层^[12]。阿尔金山前侏罗系含气层并非传统的单一页岩,常含碳质或粉砂、砂等碎屑物,发育多类型的、以泥页岩为主的细粒沉积,统称为富有机质泥页岩^[13-15]。

2.1 岩相特征

本次研究以地表调查为主,结合一口地质调查井的岩心资料,通过系统采样分析测试,认为阿尔金山前富有机质泥页岩的类型主要有3种,即(1)黑色泥页岩:泥质结构,页理发育,多被方解石充填(图1a),厚层状产出,研究区多有分布,主要发育于河湖沼泽或半深湖环境;(2)碳质页岩:泥质结构,页理构造,泥质一般被碳质侵染(图1b),主要分布在茫崖1号沟地区,主要发育于河湖沼泽或半深湖环境;(3)暗色粉砂质泥页岩:泥质结构,页理构造,含少量碳质,发育方解石充填裂隙(图1c),

分布广泛,常与黑色页岩互层,主要发育于滨浅湖和三角洲环境。总体来看,阿尔金山前侏罗系富有机质泥页岩层段的岩性主要为黑色页岩,沉积环境以半深湖为主。

2.2 泥页岩展布特征

2.2.1 垂向分布情况

通过对阿尔金山前地区资料整理,结合此次研究,对阿尔金山前侏罗系地层发育情况和展布特征重新进行了厘定,认为阿尔金山前侏罗系富有机质泥页岩层段主要发育于大煤沟组,个别发育地区泥页岩层段的累计厚度甚至超过了500 m(图2)。

月牙山剖面泥页岩层段主要分布在中上部大煤沟组,累计厚度约300 m,单层均厚8.3 m。黑浅1井基本全为暗色泥页岩层段,仅在下部有少量油积岩出现,泥页岩累计厚度超过100 m。柴水沟剖面泥页岩层段主要发育在中上部,累计厚度约335 m,单层均厚8.6 m。茫崖1号沟剖面泥页岩层段主要发育在中上部,累计厚度约548 m,单层均厚9.3 m。中、下侏罗统泥页岩层段相控沉积明显,主要为半深湖亚相和河湖相沼泽沉积。

2.2.2 平面分布情况

早—中侏罗世时期,由于受到构造运动的影响,盆地发生差异升降运动,七个泉断鼻带(柴水沟)和小梁山凹陷(月牙山)相对下沉,导致沉积中心向东北方向转移至柴水沟—清水河一线以及月牙山地区。以井和野外剖面数据为基础,通过地震资料和沉积相等综合分析,阿尔金山前下侏罗统含气(油)泥页岩在平面上呈带状沿NW-SE方向展布,有一定气测异常的有效含气(油)泥页岩主要分布于七个泉—红沟子(黑石山)—小梁山构造带,残留厚度较大,潜力较好。

中—下侏罗统泥页岩展布受沉积相控制,七个泉—红沟子—小梁山构造带发育大套富有机质泥页岩。其中,茫崖镇北、清水沟、黑石山及月牙山泥页岩厚度超过200 m,整体上表现为由阿尔金山前

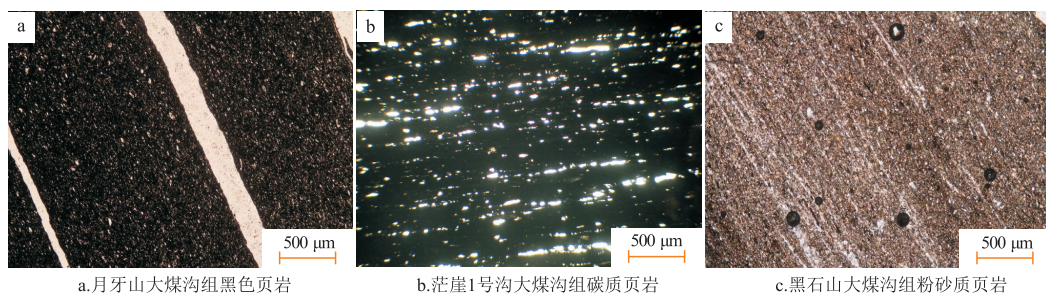


图1 阿尔金山南缘山前侏罗系泥页岩镜下鉴定

Fig.1 Microscopic identification of the Jurassic shales in the frontal area of the southern Altun Tagh

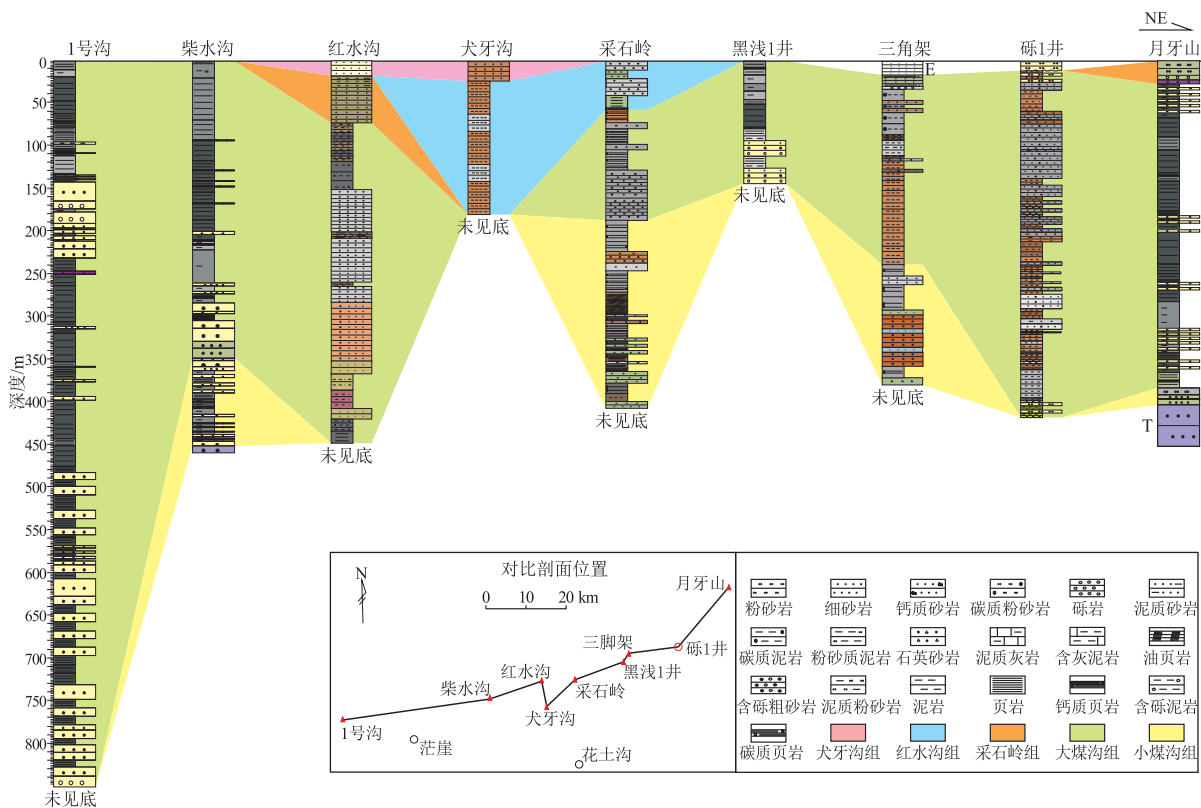


图 2 阿尔金南缘山前侏罗系地层对比

Fig.2 Stratigraphic correlation of the Jurassic in the frontal area of the southern Altun Tagh

向盆地内部,残余厚度变小至零(图 3)。

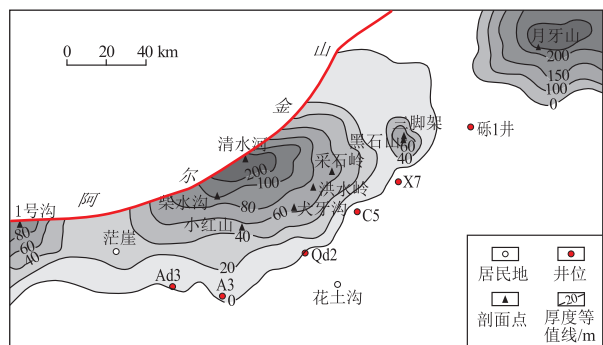


图 3 阿尔金南缘山前泥页岩(J₁-J₂)残厚分布

Fig.3 Residual thickness of Lower-Middle Jurassic shales in the frontal area of the southern Altun Tagh

2.3 有机地化特征

有机质不仅是烃源物质,而且是天然气的储集媒介,因此有机质的地球化学特征对页岩气的成藏有很大影响。

2.3.1 有机质丰度和类型

北美页岩气勘探研究与实践证明,总有机碳(TOC)含量增加,泥页岩的含气量随之增加。搞清富含有机质泥页岩层段的有机质丰度特征和平面分布,是页岩气评价的基础。

月牙山剖面观察到泥页岩层段在大煤沟组发育,样品分析有机质的 TOC 含量介于 0.14%~10.00%,平均 2.72%,主要为 II₁-II₂型(表 1)。黑石山剖面观察到,富含有机质泥页岩在大煤沟组和

表 1 阿尔金南缘山前泥页岩(J₁-J₂)地化指标

Table 1 Geochemical parameters of the Jurassic shales (J₁-J₂) in the frontal area of the southern Altun Tagh

地层	剖面位置	单层厚度/m	w(TOC)/%	生烃潜量/(mg·g ⁻¹)	干酪根类型	R ₀ /%
中侏罗统	月牙山	0.7~43.6/8.3	0.14~10.00/2.72(23)	0.43~2.19/1.05(23)	II ₁ -II ₂	1.02~1.17/1.11(4)
大煤沟组	黑石山	1.2~30.2/13.5	0.13~2.04/1.00(9)	0.31~0.66/0.38(9)	II ₁ -II ₂	1.10~1.28/1.17(4)
	柴水沟	0.7~48.7/11.0	0.68~4.06/1.94(10)	0.30~1.02/0.50(10)	II ₂	1.41~1.47/1.43(3)
	1号沟	1.3~44.9/9.3	0.49~4.71/2.54(20)	0.02~0.33/0.08(20)	II ₂ -III	1.48~4.40/2.87(5)
下侏罗统	小煤沟组	黑石山	0.6~4.8/2.3	1.41~1.67/1.54(2)	II ₁	1.32/1.32(1)
	柴水沟	1.3~7.7/4.4	0.34~13.01/5.19(7)	0.22~7.00/1.95(7)	II ₂ -III	1.47~1.78/1.56(4)

注:表中数字格式为最小值~最大值/平均值(样品数);干酪根类型与 R₀测试样品数相同。

小煤沟组均有发育,测试结果表明,露头区 TOC 含量介于 0.13%~2.04%,平均 1.09%。其中,大煤沟组 TOC 介于 0.13%~2.04%,平均 1.00%,类型以 II₁-II₂ 型为主;小煤沟组 TOC 介于 1.41%~1.67%,平均 1.54%,类型以 II₁ 型干酪根为主。柴水沟剖面 TOC 含量介于 0.34%~13.01%,平均 3.01%。其中,大煤沟组 TOC 介于 0.68%~4.06%,平均 1.94%,类型以 II₂ 型为主;小煤沟组 TOC 介于 0.34%~13.01%,平均 5.19%,类型以为 II₂-III 型干酪根为主。茫崖 1 号沟剖面观察到大煤沟组,TOC 含量介于 0.49%~4.71%,平均 2.54%,类型主要为 II₂-III 型。纵向上看,中、下侏罗统上段泥页岩总有机碳含量较高,大于 1.0% 的所占比例为 78.3%,局部大于 10% (图 4),有机质类型以 II₁-II₂ 型为主。除柴水沟剖面外,其他剖面大煤沟组的有机质丰度均优于小煤沟组,而柴水沟地区的小煤沟组较好。

平面上来看,阿尔金山前中一下侏罗统泥页岩有机碳含量高值主要分布在沉积中心,在茫崖 1 号沟、柴水沟—清水河一线、黑石山—三脚架一带以及月牙山附近 TOC 平均含量在 2.0% 以上,而远离沉积中心向盆地方向,有机质丰度变低 (图 5)。

2.3.2 有机质成熟度

月牙山剖面中、下侏罗统泥页岩的 R_o 介于 1.02%~1.17%,平均 1.11%,热演化阶段为成熟;黑石山剖面泥页岩的 R_o 介于 1.10%~1.32%,平均 1.20%,为成熟—高成熟,大多处于成熟阶段,其中,大煤沟组 R_o 介于 1.10%~1.28%,处于成熟阶段;柴水沟剖面泥页岩的 R_o 介于 1.41%~1.78%,平均 1.51%,处于高成熟阶段;茫崖 1 号沟剖面泥页岩的 R_o 介于 1.48%~4.40%,平均值为 2.87%,为高成熟—过成熟,其中以高成熟阶段为主 (表 1)。纵

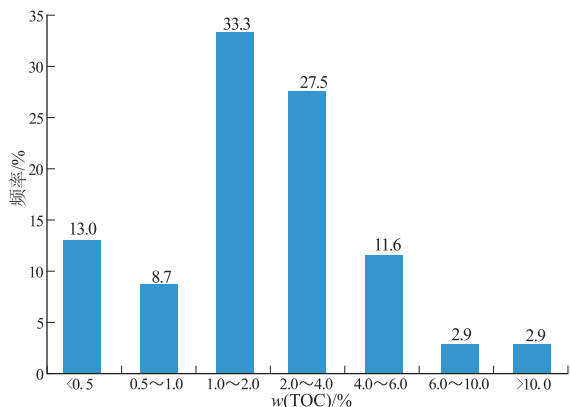


图 4 阿尔金南缘山前侏罗系泥页岩 TOC 含量分布
Fig.4 distribution histogram of the Jurassic shales in the frontal area of the southern Altun Tagh

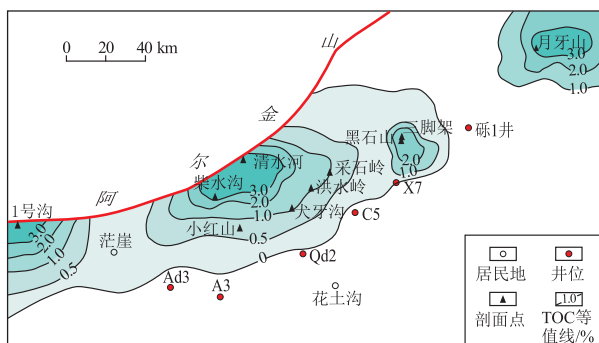


图 5 阿尔金南缘山前泥页岩 (J₁-J₂) TOC 平面展布

Fig.5 TOC distribution of the shales (J₁-J₂) in the frontal area of the southern Altun Tagh

向比较发现,月牙山和黑石山剖面泥页岩有机质成熟度大多处于成熟阶段,而柴水沟和茫崖 1 号沟剖面泥页岩的演化程度很高,生烃潜力小。

通过不同剖面泥页岩有机质成熟度对比,结果表明阿尔金山前中、下侏罗统泥页岩的有机质演化受阿尔金走滑断裂系的控制作用明显,沿断裂带位置演化程度高,盆地内部演化程度较低。具体来看,茫崖 1 号沟和柴水沟剖面中、下侏罗统泥页岩有机质过高的演化程度,反映了阿尔金断裂系统对有机质演化影响很大,频发的热活动事件使有机质的生烃潜力变小,说明该剖面带附近页岩气成藏条件较差。而黑石山和月牙山中、下侏罗统泥页岩有机质演化程度较低,生烃潜力较大,说明该剖面带附近页岩气成藏条件较好。

3 有利勘探方向分析

阿尔金山前富有机质泥页岩主要形成于湖相环境,尽管沉积环境的变化造成泥页岩展布的间断性,但对比国外页岩气产区指标^[16] (表 2),阿尔金山前泥页岩层段厚度较大、TOC 含量高、有机质处于成熟—高成熟阶段。分析认为阿尔金山前大煤沟组页岩气发育的地质条件较好,以此优选出 4 个页岩气有利区,分别为月牙山区带、黑石山—三脚架区带、柴水沟—清水河区带以及茫崖 1 号沟区带 (图 6)。

4 结论

(1) 阿尔金南缘山前侏罗系富有机质泥页岩层段主体发育于大煤沟组,主要为半深湖和河湖沼泽沉积,沿山前呈 NE-SW 向条带状展布,个别地区累计厚度超过 500 m,向盆内尖灭。

(2) 阿尔金南缘山前中、下侏罗统泥页岩层段有机碳含量主要介于 1.00%~5.19%, R_o 主要介于

表 2 阿尔金山南缘山前泥页岩与美国页岩相关指标对比

Table 2 Comparison of shales between the frontal area of the southern Altun Tagh and America

盆地或地区	地层	页岩名称	w(TOC)/%	R _o /%	有机质类型	页岩厚度/m
密执安盆地	泥盆系	Antrim	0.30~24.00	0.40~0.60	I - II	21~50
伊利诺斯盆地	泥盆系	New Albany	1.00~25.00	0.40~1.00	I - II	30~140
阿巴拉契亚盆地	上泥盆统	Ohio	0~4.70	0.40~1.30	I - II	9~31
福特沃斯盆地	密西西比系	Barnett	4.50	1.00~1.30	I - II	15~60
圣胡安盆地	上白垩统	Lewis	0.45~2.50	1.60~1.88	II - III	61~91
阿尔金山前	中侏罗统	大煤沟组	1.00~2.72	1.11~2.87	II - III	1~48
阿尔金山前	下侏罗统	小煤沟组	1.54~5.19	1.32~1.56	II - III	1~8

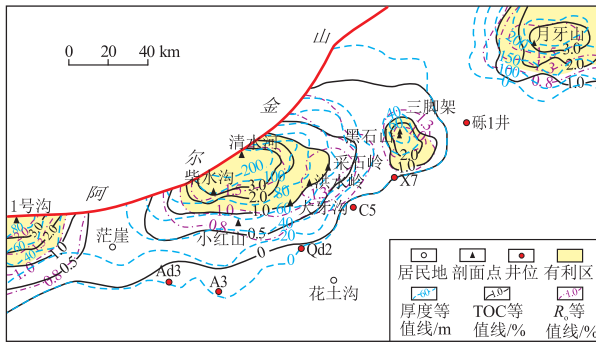


图 6 阿尔金山南缘山前侏罗系页岩气有利区分布

Fig.6 Favorable targets of the Jurassic shale gas in the frontal area of the southern Altun Tagh

1.11%~2.87%，有机质类型以 II₁-II₂ 型干酪根为主，山前发育好，向盆内逐渐变差。

(3) 通过与北美主要页岩气产区对比，阿尔金山南缘山前大煤沟组泥页岩层段厚度较大、TOC 含量高、有机质处于成熟—高成熟阶段，页岩气发育的地质条件较好，综合分析后优选月牙山区带、黑石山—三脚架区带、柴水沟—清水河区带以及茫崖 1 号沟区带为 4 个页岩气有利区。

参考文献:

[1] 张金川,林腊梅,李玉喜,等.页岩气资源评价方法与技术:概率体积法[J].地学前缘,2012,19(2):184-191.
Zhang Jinchuan, Lin Lamei, Li Yuxi, et al. The method of shale gas assessment: Probability volume method [J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(2): 184-191.

[2] 张金川,边瑞康,荆铁亚,等.页岩气理论研究的基础意义[J].地质通报,2011,30(23):318-323.
Zhang Jinchuan, Bian Ruikang, Jing Tieya, et al. Fundamental significance of gas shale theoretical research [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(23): 318-323.

[3] Ritts B D, Hanson A D, Zinniker D, et al. Lower-Middle Jurassic nonmarine source rocks and petroleum systems of the Northern Qaidam Basin, Northwest China [J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(12):1980-2005.

[4] 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(4):139-150.

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.

[5] Jarvie D M, Hill R J, Ruble T E, et al. Unconventional shale-gas systems: The Mississippian Barnett shale of north-central Texas as one model for thermogenic shale gas assessment [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 475-499.

[6] 何发岐,朱彤,陆相页岩气突破和建产的有利目标:以四川盆地地下侏罗统为例[J].石油实验地质,2012,34(3):246-251.
He Faqi, Zhu Tong. Favorable targets of breakthrough and built-up of shale gas in continental facies in Lower Jurassic, Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(3): 246-251.

[7] 段宏亮,钟建华,马锋,等.柴西阿尔金山前中、下侏罗统展布及油气勘探方向[J].中国石油大学学报:自然科学版,2006,30(6):13-18.
Duan Hongliang, Zhong Jianhua, Ma Feng, et al. Lower-Middle Jurassic distribution and oil-gas exploration direction on the southern Altun tagh in the western Qaidam Basin [J]. Journal of China University of Petroleum, 2006, 30(6): 13-18.

[8] 青藏油气区石油地质编写组.中国石油地质志(卷14):青海油气区[M].北京:石油工业出版社,1990.
Petroleum Geology Preparation Group of Qinghai Petroleum District. Qinghai petroleum zone, China petroleum geology annals No.14 [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1990.

[9] 曾联波,金之钧,张明利,等.柴达木侏罗纪盆地性质及其演化特征[J].沉积学报,2002,20(2):288-292.
Zeng Lianbo, Jin Zhijun, Zhang Mingli, et al. The Jurassic basin type and its evolution characteristic in Qaidam Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(2): 288-292.

[10] 张跃中,张敏,马富强,等.柴达木盆地西部阿尔金山斜坡地区盆地演化与油气勘探[J].中国石油勘探,2006,11(6):26-32.
Zhang Yuezhong, Zhang Min, Ma Fuqiang, et al. Basin-range evolution and oil-gas exploration in Altun Slope area of western Qaidam Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2006, 11(6): 26-32.

[11] 李臣.柴西红沟子地区侏罗系油气成藏条件研究[J].特种油气藏,2007,14(4):40-43.
Li Chen. Mechanism of oil accumulation in Jurassic reservoirs in Honggouzi, west of Qaidam Basin [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2007, 14(4): 40-43.

Yuan Xuecheng, Ren Jishun, Xu Mingcai, et al. Reflection seismic profile from Dengxian to Nanzhang, eastern Qinling, and its tectonic implication[J]. *Geology in China*, 2002, 29(1): 14-18.

[10] 宋明水, 江来利, 李学田, 等. 大别山造山带对合肥盆地的构造控制[J]. *石油实验地质*, 2002, 24(3): 209-215.

Song Mingshui, Jiang Laili, Li Xuertian, et al. Tectonic control of the Dabieshan orogenic belt over the Hefei Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2002, 24(3): 209-215.

[11] 熊保贤, 刘和甫. 南华北盆地与东秦岭—大别造山带的耦合关系[J]. *地质前缘*, 2000, 7(3): 152.

Xiong Baoxian, Liu Hepu. Coupling relationship between the Southern East China Basin and the East Qinling-Dabie Orogen[J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(3): 152.

[12] 袁学诚, 徐明才, 唐文榜, 等. 东秦岭陆壳反射地震剖面[J]. *地球物理学报*, 1994, 37(6): 749-758.

Yuan Xuecheng, Xu Mingcai, Tang Wenbang, et al. Eastern Qinling seismic reflection profiling[J]. *Acta Geophysica Sinica*, 1994, 37(6): 749-758.

[13] 徐明才, 高景华, 刘建勋. 东秦岭深地震剖面上莫霍基本特征的研究[J]. *地质与勘探*, 2000, 36(1): 40-43.

Xu Mingcai, Gao Jinghua, Liu Jianxun. Research of Moho basic features on eastern Qinling deep seismic profile[J]. *Geology and Prospecting*, 2000, 36(1): 40-43.

[14] Mooney W D, Meissner R. Multi-genetic origin of crustal reflection

seismicity: A review of seismic reflection profiling of the Continental Lower Crust and Moho[M]//Fountain D M, Aroulus R, Kay R W. *Continental Lower Crust*. Amsterdam: Elsevier, 1992: 45-79.

[15] 但卫, 杨坤光, 马昌前. 东大别罗田地区纵弯式褶皱及其地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2006, 30(4): 422-429.

Dan Wei, Yang Kunguang, Ma Changqian. The buckling fold and its geological significance in Luotian area of Eastern Dabie Mountains[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2006, 30(4): 422-429.

[16] 王勇生, 盛勇, 向必伟, 等. 北淮阳浅变质岩带卢镇关群变质压力及其对大别造山带演化的指示[J]. *地质论评*, 2012, 58(5): 865-872.

Wang Yongsheng, Sheng Yong, Xiang Biwei, et al. Metamorphic pressure of the Luzhenguan Group in the North Huaiyang low-grade metamorphic belt and its indication for evolution of the Dabie Mountains[J]. *Geological Review*, 2012, 58(5): 865-872.

[17] 王勇生, 朱光, 王道轩, 等. 大别山东缘郟庐两期走滑剪切带形成的温压条件与造山带折返的关系[J]. *大地构造与成矿学*, 2004, 28(3): 228-238.

Wang Yongsheng, Zhu Guang, Wang Daoxuan, et al. Relation between P-T conditions of two phases of Tanlu strike-slip shear zones and delamination of the orogenic belts on the eastern margin of the Dabie Mountains[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2004, 28(3): 228-238.

(编辑 韩 彧)

(上接第 182 页)

[12] 侯杰杰, 包书景, 毛小平, 等. 页岩气资源潜力评价的几个关键问题讨论[J]. *地球科学与环境学报*, 2012, 34(3): 7-16.

Hou Dujie, Bao Shujing, Mao Xiaoping, et al. Discussion on the key issues of resource potential evaluation for shale gas[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2012, 34(3): 7-16.

[13] 郝运轻, 谢忠怀, 周自立, 等. 非常规油气勘探领域泥页岩综合分类命名方案探讨[J]. *油气地质与采收率*, 2012, 19(6): 16-19, 24.

Hao Yunqing, Xie Zhonghuai, Zhou Zili, et al. Discussion on the comprehensive classification of shale in unconventional oil and gas exploration area[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2012, 19(6): 16-19, 24.

[14] 涂乙, 邹海燕, 孟海平, 等. 页岩气评价标准与储层分类[J]. *石油与天然气地质*, 2014, 35(1): 153-158.

Tu Yi, Zou Haiyan, Meng Haiping, et al. Evaluation criteria and classification of shale gas reservoirs[J]. *Oil & Gas Geology*, 2014, 35(1): 153-158.

[15] 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]. *地质前缘*, 2014, 21(4): 311-322.

Shao Longyi, Li Meng, Li Yonghong, et al. Geological characteristics and controlling factors of shale gas in the Jurassic of the northern Qaidam Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 2014, 21(4): 311-322.

[16] 朱彤, 曹艳, 张快. 美国典型页岩气藏类型及勘探开发启示[J]. *石油实验地质*, 2014, 36(6): 718-724.

Zhu Tong, Cao Yan, Zhang Kuai. Typical shale gas reservoirs in USA and enlightenment to exploration and development[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014, 36(6): 718-724.

(编辑 徐文明)