

石司宇, 田继军, 王长江, 等. 新疆吐哈盆地页岩气富集条件与有利区预测[J]. 中国地质, 2016, 43(2): 564–574.

Shi Siyu, Tian Jijun, Wang Changjiang, et al. Geological controls of shale gas accumulation and favorable area prediction in Turpan-Hami Basin[J]. Geology in China, 2016, 43(2): 564–574(in Chinese with English abstract).

新疆吐哈盆地页岩气富集条件与有利区预测

石司宇¹ 田继军¹ 王长江² 韦波³ 杨曙光³ 李乐¹

(1. 新疆大学地质与矿业工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 中国石油测井公司油气评价中心; 陕西 西安 710077;
3. 新疆煤田地质局, 新疆 乌鲁木齐 830001)

摘要:通过对吐哈盆地页岩的分布、厚度、有机质丰度及有机质成熟度进行分析, 结合页岩矿物成分进行裂缝发育及气体吸附能力的评价, 并综合盖层分布、储层物性特征以及显著的气测数据对页岩气成藏条件进行研究发现: 吐哈盆地中、下二叠统桃东沟群与中、上三叠统小泉沟群的页岩厚度大、脆性矿物种类多且含量高, 有机质丰度大, 盖层条件好, 是比较有利的页岩气勘探层位。进一步预测台南凹陷、台北凹陷南缘、托克逊凹陷的西部及北部地区是桃东沟群页岩气勘探有利区, 三堡凹陷是小泉沟群页岩气勘探的有利区域。

关键词:吐哈盆地; 页岩气; 富集条件; 矿物特征; 地化特征; 有利区预测

中图分类号: P618.13 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016)02-0564-11

Geological controls of shale gas accumulation and favorable area prediction in Turpan–Hami Basin

SHI Si-yu¹, TIAN Ji-jun¹, WANG Chang-jiang², WEI Bo³, YANG Shu-guang³, LI Le¹

(1. College of Geological Exploration and Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China;
2. Petro China Logging Company, Xi'an 710077, Shaanxi, China; 3. Xinjiang Bureau of Coal Geological Exploration, Urumqi 830001, Xinjiang, China)

Abstract: Based on analyzing the distribution, thickness, total organic carbon content, degree of organic metamorphism of the shale of Turpan–Hami Basin, evaluating the formation of fractures and the capability of adsorbing gas in consideration of the mineral composition, and studying the conditions of shale gas accumulation by analyzing the distribution of cap rocks, the physical property of reservoir, and the data of gas surveying, the authors consider that the shales in Middle–Lower Permian Taodonggou Group and the Middle–Upper Triassic Xiaoquangou Group have the bigger thickness, higher brittle mineral content, higher degree of thermal evolution, and preferable situation of cap rock, thus probably being the potential horizons of shale gas exploration. The Taodonggou Group of Tainan depression, the north of Taiben depression and the northwest of Tuokexun depression and the Xiaoquangou Group shale of Sanbao depression are favorable areas for gas exploration.

收稿日期: 2015-04-06; 改回日期: 2015-06-05

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技支撑项目“新疆页岩气形成机理与富集规律”(201333108)资助。

作者简介: 石司宇, 男, 1990年生, 硕士生, 从事沉积学及石油地质学方面的研究; E-mail: 496886523@qq.com。

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; E-mail: tianjijun2012@sina.com。

Key words: Turpan-Hami Basin; shale gas; accumulation condition; mineral features; geochemical features; favorable area prediction

About the first author: SHI Si-yu, male, born in 1990, master, mainly engages in the study of sedimentology and petroleum geology, E-mail: 496886523@qq.com.

About the corresponding author: TIAN Ji-jun, male, born in 1978, associate professor, doctor, engages in the study of sedimentology and unconventional fuels; E-mail: tianjijun2012@sina.com.

Fund Support: Supported by The Technologies R & D Program of Xinjiang (No. 201333108).

1 引言

吐哈盆地是新疆三大含油气盆地之一,2012年完成的《全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选》预测吐哈盆地页岩气资源量为1万亿 m^3 ^[1-3],指示其具有巨大的页岩气资源量。根据吐哈盆地托北1、托参2、鲁南1、艾参1、哈北1、哈参1等油田钻井资料进行分析:吐哈盆地中、下二叠统和上三叠统中,泥页岩厚度较大,且发现有页岩气异常富集的特征,这些都揭示了吐哈盆地页岩气巨大的勘探潜力^[1-8]。

2 地质背景

吐哈盆地位于新疆维吾尔自治区东部,整体呈东西向展布,南北分别与塔里木盆地、准噶尔盆地隔山相望。盆地四周环山,西起喀拉乌成山,东至梧桐窝子泉附近,北依博格达山、巴里坤山和哈尔里克山,南抵觉罗塔格山。盆地东西长660 km,南北宽60~100 km,总面积约53500 km²,有效勘探面积约35000 km²^[5]。盆地内具有丰富的煤炭、石油、天然气资源。

吐哈盆地与准噶尔盆地的深层基底皆为前寒

武系结晶地块,称为“准吐地块”,其上为古生代(AnC₂)褶皱基底。之后由于博格达陆间裂谷带的发育,统一的“准吐地块”分异成2个盆地。吐哈盆地基底的发育存在南北差异,中央隆起带以北,受到博格达裂谷的影响,构造运动频繁,以南则结晶基底埋深较小,并且上部盖层沉积较北部更为稳定。侏罗纪末期,中燕山运动对全盆地造成巨大的影响,使盆地明显萎缩,前白垩纪时丘东、巴喀地区宽幅隆起,台北凹陷东部则以抬升剥蚀或古隆起超覆沉积为主,这种状况一直持续到晚燕山运动结束^[9-12]。前人以地质、地球物理、钻井等资料二次开发和综合研究为基础,依据重、磁、电资料对中生界基底埋深、断裂分布体系进行解释,并结合中生代盆地基底结构、性质、断裂、地面露头、地震剖面特征等资料,参考盆地内不同地区岩浆活动、沉积地层间的岩性岩相的变化等进行了吐哈盆地构造单元的划分(图1)。

前人针对吐哈盆地地层、构造、成藏等方面做了大量的研究,但是有关页岩气的研究成果较少,仅有2011年孙玉凯等着重分析了吐哈盆地水西沟群和小泉沟群2套页岩的基本地质条件,指出了吐哈盆地具有巨大的页岩气勘探潜力^[11]。

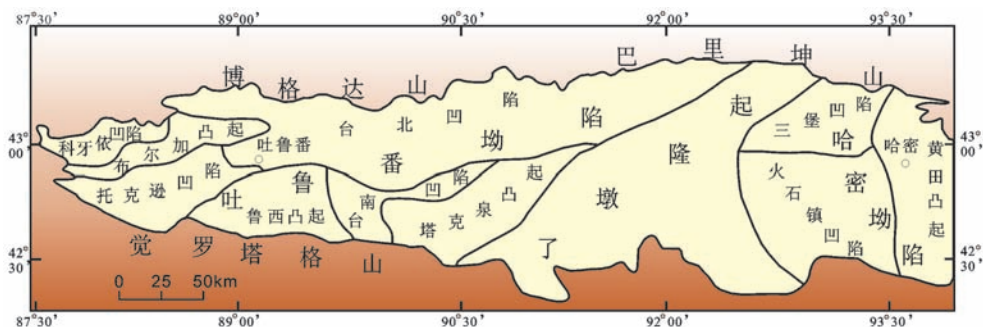


图1 吐哈盆地构造单元划分(据文献[13]修改)

Fig. 1 Structural unit of Turpan-Hami Basin (modified after reference [13])

3 富含有机质泥页岩发育情况

吐哈盆地发育有侏罗系、二叠—三叠系及石炭系3大套泥页岩,这三套泥页岩构成了盆地上、中、下3套含油气系统^[1]。侏罗系含油气系统以中、下侏罗统煤系地层为烃源岩,主要是水西沟群(J_{1-2sh})炭质泥岩、煤层和暗色泥岩;在局部地区,中侏罗统七克台组(J_{2q})湖相暗色泥岩也可作为有效烃源岩。早侏罗世含油气系统中的烃源岩主要为上二叠统桃东沟群的湖相暗色泥岩。哈密坳陷上三叠统油气系统的烃源岩主要为上三叠统内部的暗色泥岩。此外,上石炭统碳酸盐岩、泥灰岩、凝灰质泥岩、泥岩等都是吐哈盆地可能的烃源岩。

3.1 侏罗系煤系地层

侏罗系煤系含油气系统的烃源岩主要为中、下侏罗统水西沟群的煤系地层和七克台组湖相泥岩,但有效的烃源岩主要是水西沟群的八道湾组、三工河组和西山窑组,它们在盆地内广泛分布,其中的烃源岩包括煤层、炭质泥岩和暗色泥岩。

八道湾组(J_1b):吐哈盆地中本组分布广泛,见于西部的可儿街,北部的桃树园、煤窑沟,中部的台子村、三间房及东部的三道岭,南部托克逊。在艾维尔沟及桃树园,不整合覆于上三叠统郝家沟组之上,在桃树园本组地层中夹2层灰白色石英斑岩。富含植物化石及少量鱼化石。在七泉湖为黄褐色砂质泥岩、粗砂岩、泥岩夹煤层;中部为灰褐、灰绿色砂岩、泥岩夹粉砂岩及煤层,厚539 m。在吐鲁番北西50 km处为灰、灰白色砾岩、泥岩夹石英斑岩、煤线,厚43 m。在疏纳诺儿东南,为灰绿色、灰紫色砾岩、粗砂岩夹泥岩、煤线,厚154 m,并且盆地边缘向中心颗粒变细,厚度增大。沉积相主要为交织河流—三角洲平原沼泽相和湖沼相,是盆地主要产煤层位。

三工河组(J_1s):整合于八道湾组之上、西山窑组之下的一套灰绿色湖相沼泽相沉积,岩性为灰绿色砂岩、泥岩夹菱铁矿,以厚层泥岩与薄层砂岩呈互层为特点,局部地区夹有薄煤层及砾岩。厚度一般在100~200 m,最厚可达700 m以上。

西山窑组(J_1x):盆地内广泛发育湖沼及滨浅湖相为主的第二套含煤沉积建造,与八道湾组构成盆地内2套煤系生烃层系。上部为三角洲、河流相灰

白色、灰绿色砂、泥岩,下部主要为湖沼相的含煤碎屑岩建造。台北凹陷的胜北次凹—丘东次凹发育最厚,最厚达1400 m,一般在500~900 m。托克逊凹陷和哈密坳陷也是主要发育区。

3.2 中、上三叠统湖相泥页岩

哈密坳陷中、上三叠统油气主要来源于中、上三叠统内部小泉沟群暗色泥岩。

小泉沟群(T_{2-3x}):主要岩性为灰色、灰黄色、灰绿色砂岩、泥岩、暗灰色炭质泥岩、薄煤层或煤线、夹菱铁矿结核,为一套湖泊沉积为主的河湖相碎屑岩,底部发育有巨厚层砾岩,在盆地内广泛分布,厚度在400~800 m。包括克拉玛依组(T_{2-3k})、黄山街组(T_{2hs})、郝家沟组(T_{3hj}),与下伏上苍房沟群不整合接触。其下与仓房沟群整合接触,以红色层剧减为界;上与水西沟群整合或不整合接触,以岩性变粗为分界依据。

3.3 中、下二叠统湖相泥页岩

吐哈盆地中、下二叠统泥页岩主要分布于台北凹陷,部分分布于台南凹陷。可作为有效烃源岩的主要为桃东沟群(P_{2td})炭质泥岩、油页岩和湖相暗色泥岩。

桃东沟群(P_{2td}):上部岩性主要为湖泊相的灰黑色泥页岩、砂岩的互层,是盆地内重要生油岩层系;下部多为块状砂岩,常具较厚的底砾岩。这套地层遭受后期严重剥蚀,桃东沟群残留分布于台南凹陷、台北凹陷中北部、托克逊凹陷中部及哈密坳陷的北部,地层厚度一般为200~600 m。

3.4 石炭系泥页岩

石炭系泥页岩岩性极其复杂,包括碳酸盐岩、泥灰岩、凝灰质泥岩和泥岩。哈密坳陷北缘露头上石炭统以滨浅海沉积为主,而白杨河—石城子一带以灰岩、火山岩、火山碎屑岩为主;哈密南部的小黄山一带下石炭统亚满苏组(C_{1y})为含炭泥质岩为半深海—深海浊流沉积,具有良好的生油品质。

4 沉积环境与沉积相展布

4.1 中、下侏罗统水西沟群

八道湾沉积期,湖盆多为小型而孤立的浅湖。此时,气候温暖潮湿,盆内森林茂密,水草丰美,形成了较厚的河沼、湖沼含煤建造,构成了煤成烃的重要源岩。上部为深灰色泥岩、炭质泥岩、浅灰色

厚层状砂岩及粉砂岩互层,夹多层煤层;中下部以砂岩为主,间夹灰黑色泥岩、炭质泥岩和煤层。沉积相主要为交织河流—三角洲平原沼泽相和湖沼相,是盆地主要产煤层位。

三工河期是侏罗系一次大规模的湖侵期,湖域大,湖水深,凹陷连通好,形成吐鲁番坳陷的统一湖盆,广大地区接受滨浅湖相沉积。

西山窑组是在充填三工河期扩张了的湖盆过程中沉积,因为当时吐哈盆地盆缘构造活动基本处于平静期,地形坡度比较平缓,所以西山窑组沉积物一般偏细。

4.2 中、上三叠统小泉沟群

中三叠世(T_2)克拉玛依期的区域构造又渐趋稳定,气候逐渐变为温湿,湖面扩张,克拉玛依期的沉积格局类似于桃东沟期,该时期的页岩也比较发育。吐哈盆地在该时期主要发育了扇三角洲和较深湖沉积体系。台南凹陷形成了扇三角洲—湖泊沉积体系。物源方向继承了由南向北的特征。总体沉积格架类似于桃东沟期,不同的是克拉玛依组沉积期的扇三角洲平原和前缘的范围较大。其水下分流河道可能延伸至鄯科1井地区。

晚三叠世(T_3)基本上继承了中三叠世的沉积特征,在区域构造稳定、气候温暖潮湿的背景下广泛发育了扇三角洲和湖泊沉积体系。与克拉玛依组沉积环境相比,为典型的水进体系域沉积,也是三叠纪在吐鲁番坳陷扇三角洲发育的鼎盛时期。在南、北2个扇三角洲沉积体系之间发育近东西向分布的半深湖—深湖沉积体系,为页岩分布区;哈密坳陷发育了一套由多物源供给形成的扇三角洲扇裙,深湖和半深湖仅局部发育。

4.3 中、下二叠统桃东沟群

在台南凹陷的鲁南构造带和鲁克沁构造带形成扇三角洲平原和前缘沉积。往北为扇前三角洲,形成了大段的黑色泥岩,是该地区重要的生油层之一。从桃树园、柯柯亚、照壁山和七角井的野外剖面分析,台北凹陷桃东沟群的中、下部由大段红色砾岩夹少量红色粉砂质泥岩组成,沉积环境主要为冲积扇。桃东沟群的上部岩性变细,由灰黑色泥岩与灰色砂砾岩不等厚互层组成,沉积环境为扇三角洲前缘,是物源区的构造抬升略有减弱、气候变得更温暖潮湿、湖泊面积扩展所致。从台南凹陷和托克逊凹陷的钻井资料分析,台北凹陷桃东沟期的广大地区都可能处于水下,接受了扇三角洲前缘、半深湖—深湖相沉积(图2)。

4.4 石炭系

石炭系为一套浅海相碳酸盐岩、碎屑岩、火山岩和火山碎屑岩组合,厚达万米以上,早石炭世晚期至晚石炭世早期地层,是一套从岛弧火山岩系—沉积岩系过渡的沉积组合;晚石炭世中晚期的地层广泛分布,浅水台地相的碳酸盐岩发育良好,火山活动弱。早二叠世时,海水覆盖了哈密坳陷,为一套滨浅海碳酸盐岩—火山岩建造。

5 吐哈盆地页岩气富集有利条件

5.1 地球化学条件

5.1.1 总有机碳含量(TOC)

页岩中有机质的丰度可以直接影响页岩气的富集程度,主要表现在2个方面:(1)有机质为页岩气的富集提供了基本物质基础,因此总有机碳含量与页岩生烃潜力呈正相关关系^[14-16]。(2)有机质为页岩

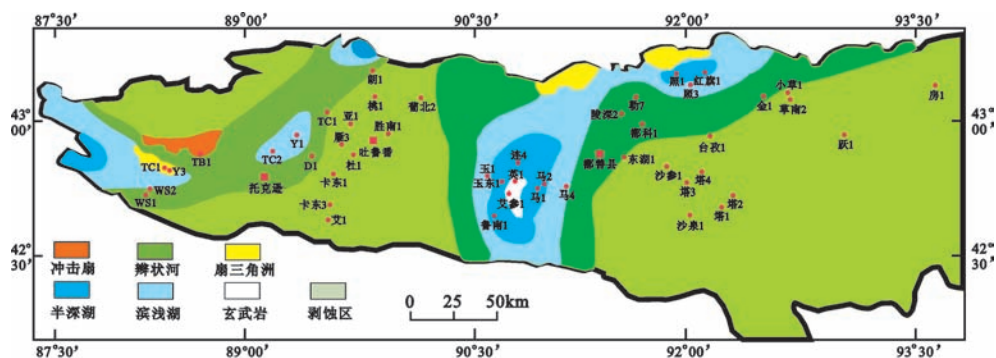


图2 吐哈盆地二叠系桃东沟群(P_2td)沉积相图

Fig.2 Sedimentary facies of Middle-Lower Permian Taodonggou group

岩气的吸附作用提供了有效的储集空间,从而影响页岩气的赋存形式,进而影响富集程度^[15-17]。

吐哈盆地各富含有机质页岩地层中,有机质的丰度存在较大差异:侏罗系水西沟群的炭质泥岩总有机碳含量为12%~20%;暗色泥岩总有机碳含量1.0%~3.0%。

吐哈盆地二叠系含油气系统中,主要分布于台北凹陷、台北凹陷周围露头和台南鲁克沁地区的桃东沟群其页岩有机碳丰度变化于0.4%~5.17%,预测沉积中心处可达5%(表1)。中、上三叠统小泉沟群(T_{2+3xq})泥页岩纵向上集中分布于黄山街组和郝家沟组,有机碳丰度为0.3%~2.74%,泥页岩总有机碳含量平均值为1.29%(表2),推测中心丰度不超过2%。石炭系泥页岩中,有机碳丰度最高的是凝灰质泥岩,平均可达1.17%;泥岩有机碳平均0.65%~0.87%。

5.1.2 有机质类型及成熟度

有机质成熟度影响生烃量,进而影响页岩气的富集。因此,在适宜的范围内,有机质成熟度高有利于页岩气聚集成藏^[18-20]。

水西沟群的西山窑组煤层,烃源岩母质类型主要为Ⅲ₁和Ⅲ₂型,是以陆生高等植物演化为主的腐殖型母质,少数湖相泥岩具Ⅱ型母质特征。现今成

熟有效的烃源岩集中发育在台北凹陷。侏罗系底部镜质体反射率一般为0.8%~1.1%,最大不超过1.3%,其中七克台组只分布在胜北次凹中;在胜北和丘东次凹主体范围内,从中燕山期起已进入有效生烃门限,与构造运动的时限一致。台北凹陷下侏罗统的烃源岩已处于生烃高峰期,中侏罗统大部分进入生烃门限,处于低熟—成熟阶段,有效生烃区主要分布于台北凹陷的中北部(图3)。

中上三叠统小泉沟群泥页岩现今演化阶段为成熟—高成熟阶段,此前在侏罗纪末燕山运动时处于原油生成的高熟阶段($R_o=1.1\%~1.4\%$)。之后由于埋藏增温速率降低等原因演化渐趋停滞,至晚喜山期时仍保持在高—过成熟阶段($R_o=1.2\%~1.5\%$)。小泉沟群页岩最早于中燕山运动时才进入低熟演化阶段,晚喜山期时处于原油生成的中—高成熟阶段($R_o=0.9\%~1.2\%$)(图4)。

中、下二叠统桃东沟群页岩的母质类型为Ⅱ—Ⅲ型,根据古地温梯度及页岩埋藏史研究所计算的温热成熟度指数(TTI法)结果表明:中、下二叠统桃东沟群泥页岩主体在早燕山运动时(J_{1-2sh} 沉积中、后期)已处于原油生成的低熟阶段($R_o=0.6\%~0.9\%$,绝大部分大于0.7%)。桃东沟群现今有机质为成熟—高成熟阶段(图5)。

表1 哈密凹陷周缘露头二叠系生油岩评价

Table 1 Evaluation of peripheral outcrop of Permian source rocks in the Hami depression

剖面名称	层位	有机碳含量/%		氯仿沥青A含量/%		总烃含量/ 10^{-6}		生烃潜力/(mg/g)		综合评价
		范围值	平均值	范围值	平均值	范围值	平均值	范围值	平均值	
库莱	P _{1y}	2.35~4.05	3.21	0.0106~0.1163	0.0435	37~194	116	0.4~1.1	0.76	好生油岩
大南湖	P _{1y}	1.33~10.4	5.9	0.0123~0.0229	0.0211	46.6~56	51			好生油岩

表2 吐哈盆地中上三叠统小泉沟群泥页岩丰度评价

Table 2 Middle-Upper Triassic Xiaoquangou Formation shale abundance evaluation in Turpan-Hami Basin

凹陷	层位	Cot/%	"A"/%	HC/ 10^{-6}	(S ₁ +S ₂)/(mg/g)	丰度评价
托克逊	T ₃	1.29	0.0347	226	2.68	较好
	T ₂	0.89	0.0123	95	0.83	较差
台北	T ₃	0.87	0.0164	110	0.35	较差
	T ₂	1.6	0.0473	339	0.27	较好
台南	T ₃	1.25	0.0403	221	0.63	较好
	T ₂	0.45	0.0083	97	0.83	较差
哈密	T ₃	0.91	0.0161	136	0.84	较差
		17.31	0.3504	1609	45.13	好
	T ₂	0.32	0.0145	106	0.15	/

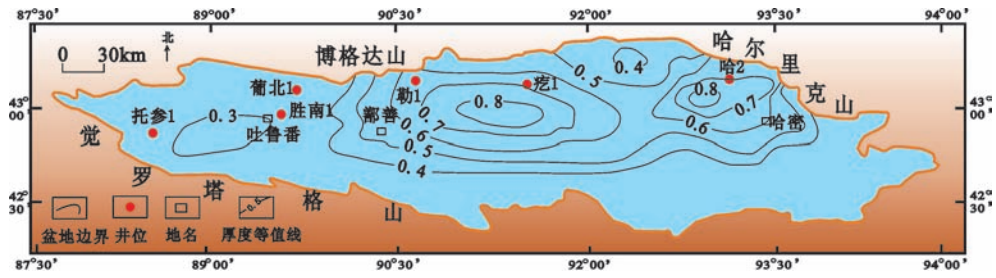


图3 吐哈盆地侏罗系页岩镜质体反射率分布图(据文献[9]修改)

Fig. 3 The distribution of vitrinite reflectance of Jurassic shale in Turpan-Hami Basin (modified after reference [9])

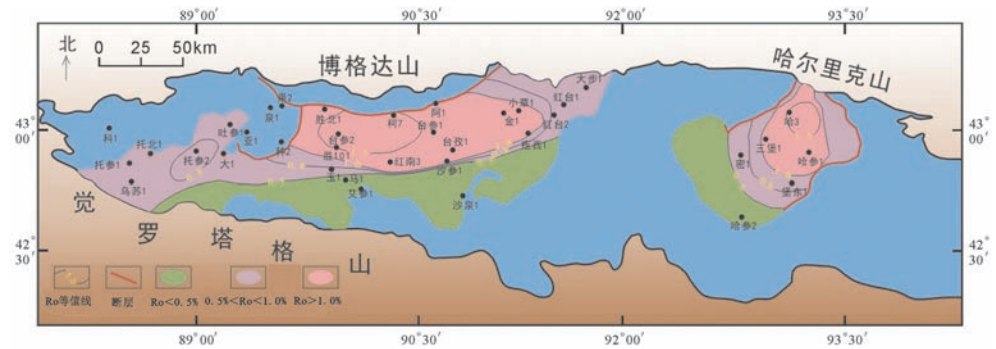


图4 吐哈盆地中上三叠统小泉沟群泥页岩现今Ro等值线图

Fig. 4 Middle-Upper Triassic Xiaolangou Formation shale Ro isogram in Turpan-Hami Basin

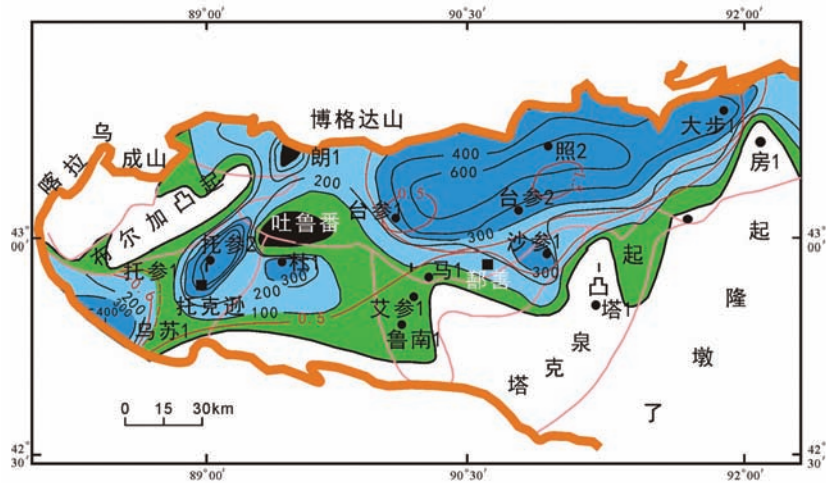


图5 吐鲁番坳陷P₂页岩综合评价图

Fig. 5 Comprehensive evaluation of P₂ shale in Turpan depression

石炭系泥页岩现今镜质体反射率大于2%, 烃源岩母质类型以Ⅲ₁型为主, 兼有Ⅱ型。

5.2 岩石矿物组成对裂缝及孔隙度的影响

页岩的主要矿物成分为黏土矿物, 其余依次为石英、长石等碎屑矿物和少量自生非黏土矿物, 包

括锰、铁、铝的氢氧化物和氧化物、碳酸盐、硫化物、硫酸盐、硅质矿物及一些磷酸盐等^[21,22]。

游离态页岩气主要储存于岩石孔隙与裂隙之中, 而裂缝发育的内因主要取决于页岩矿物学特征。黄铁矿的普遍存在表明页岩原始沉积时的还

原环境有利于有机质的保存,因此黄铁矿含量与吸附气含量呈正相关^[21-23]。同时黏土矿物往往具有较高的微孔隙体积和较大的比表面积,吸附性能较强。

吐哈盆地页岩中石英、长石等脆性矿物含量高(>75%),从而导致其造缝能力强,容易产生裂缝网络,为游离态页岩气的富集创造了有利条件。黏土矿物的质量分数集中分布在40%~75%(图6),因此具有较大的微孔总体积和较大的比表面积,同时黄铁矿含量高也证明该区域页岩有较高的吸附能力。综合得出吐哈盆地页岩的矿物组成也有利于吸附型页岩气的富集。

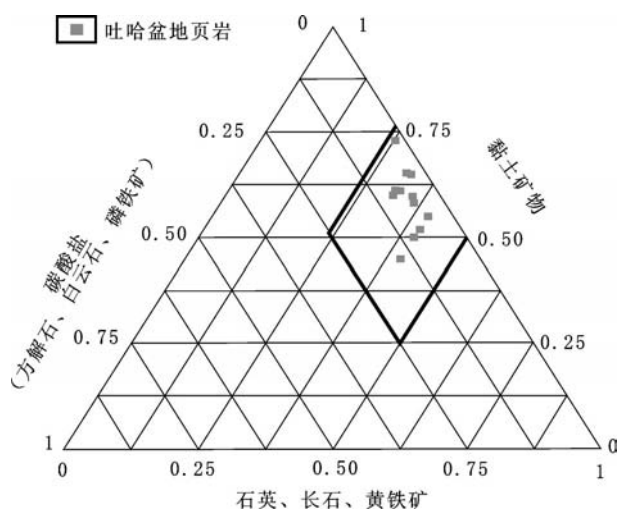


图6 吐哈盆地泥页岩矿物成分三角图(据文献[9]修改)
Fig. 6 Mineral composition of shale in Turpan-Hami Basin (modified after reference [9])

5.3 厚度与埋深

页岩层厚度在一定程度上控制着页岩气藏规模大小及经济效益,而随着埋深的增加,温度、压力不断升高,有机质成熟度随之增大,更有利于页岩气的生成和吸附^[24-26]。

下侏罗统煤系地层厚度中心在托克逊凹陷和台北凹陷,最大厚度超过100 m(图7),中侏罗统是滨浅湖背景下的浅湖沼泽相沉积,主要发育一系列辫状河三角洲、扇三角洲砂体,及少量的河流-冲积扇砂体和滨湖滩坝砂体。

哈密凹陷上三叠统页岩厚度为100~300 m。吐哈盆地中、下二叠统桃东沟群暗色泥岩和泥灰岩集中分布于上部的塔尔朗组。据台南、台北凹陷钻井资料和以及台北凹陷周边露头的资料推断,桃东沟群页岩主要分布于台北凹陷,台南凹陷仅有局部分布。台北凹陷的页岩厚度为渐变特征,厚度中心在北部的恰勒坎东一二塘沟一带,暗色泥岩最厚可达600 m(图8)。

哈密南部的小黄山一带下石炭统亚满苏组(C_{1y})为含碳泥质岩,东部厚度为288 m,向西增厚至684 m。

吐哈盆地二叠系、三叠系含页岩地层埋深较大,大部分区域埋深超过3500 m,利于页岩气的生成与富集。

6 页岩气成藏条件分析

6.1 页岩气成藏机理

页岩气成藏体现出无运移或短距离运移的特

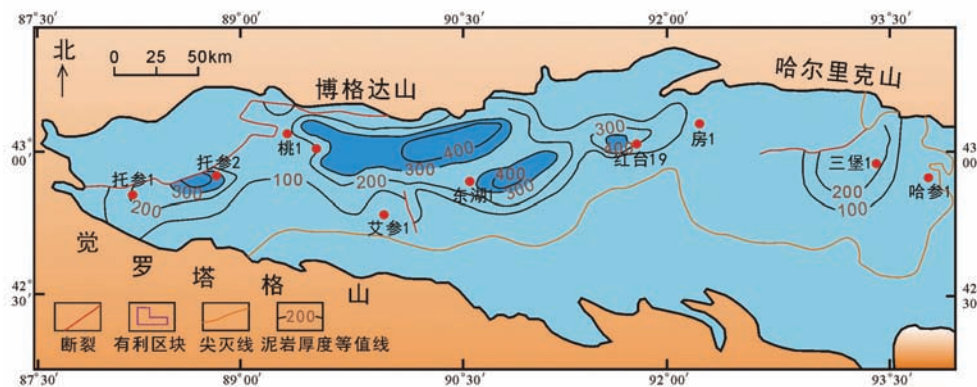


图7 吐哈盆地西山窑组暗色泥岩厚度等值线图(据文献[9]修改)
Fig. 7 Xishanyao Formation dark mudstone thickness isoline in Turpan-Hami Basin (modified after reference [9])

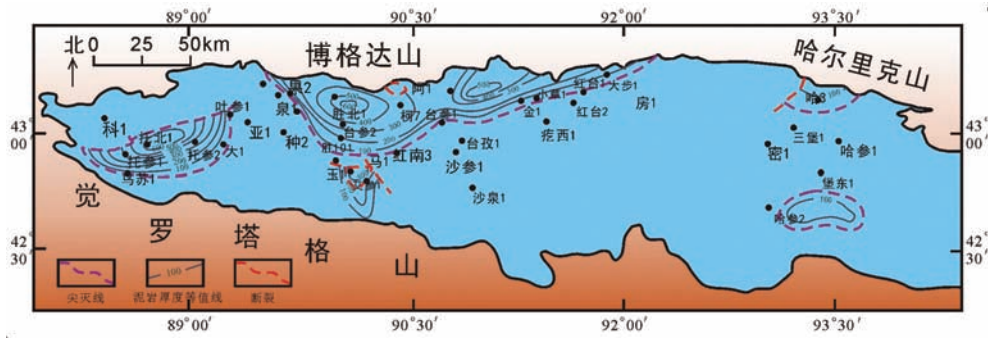


图8 吐哈盆地二叠系桃东沟群(P_{2td})页岩厚度图
Fig.8 Permian Taodonggou Group (P_{2td}) shale thickness in Turpan-Hami Basin

征,泥页岩中的裂缝和微孔隙成了主要的运移通道,而常规天然气成藏除了烃类气体在泥页岩中的初次运移以外,还需在储集层中通过断裂、孔隙等输导系统进行二次运移^[26-27]。

在赋存方式上,二者差别较大,首先,储集层和储集空间不同(常规天然气储集于碎屑岩或碳酸盐岩的孔隙、裂缝、溶孔、溶洞中,页岩气储集于泥页岩黏土矿物和有机质表面、微孔隙中);其次,常规天然气以游离赋存为主,页岩气以吸附和游离赋存方式为主^[25]。

在盖层条件方面,鉴于页岩气的赋存方式,其对上覆盖层条件的要求比常规天然气要低,地层压力的降低可以造成页岩气解吸和散失。

页岩气的成藏过程和成藏机理与煤层气极其相似^[28-29],吸附气成藏机理、活塞式气水排驱成藏机理和置换式运聚成藏机理在页岩气的成藏过程中均有体现。

6.2 盖层分布特征

根据吐哈盆地生储盖组合(图9)可以得出:

(1)中、下侏罗统水西沟群的煤系地层附近发育有4套良好的盖层,分别是三间房组下段泥岩以及下侏罗统的3套区域性盖层,它们控制了页岩气的分布。

(2)中、上三叠统内部及上部发育有多套盖层,特别是郝家沟组中上部泥岩段厚度一般有100~300 m,加之上覆有水西沟群巨厚煤系地层(其中的砂砾岩也十分致密),共同组成了下含油气系统的

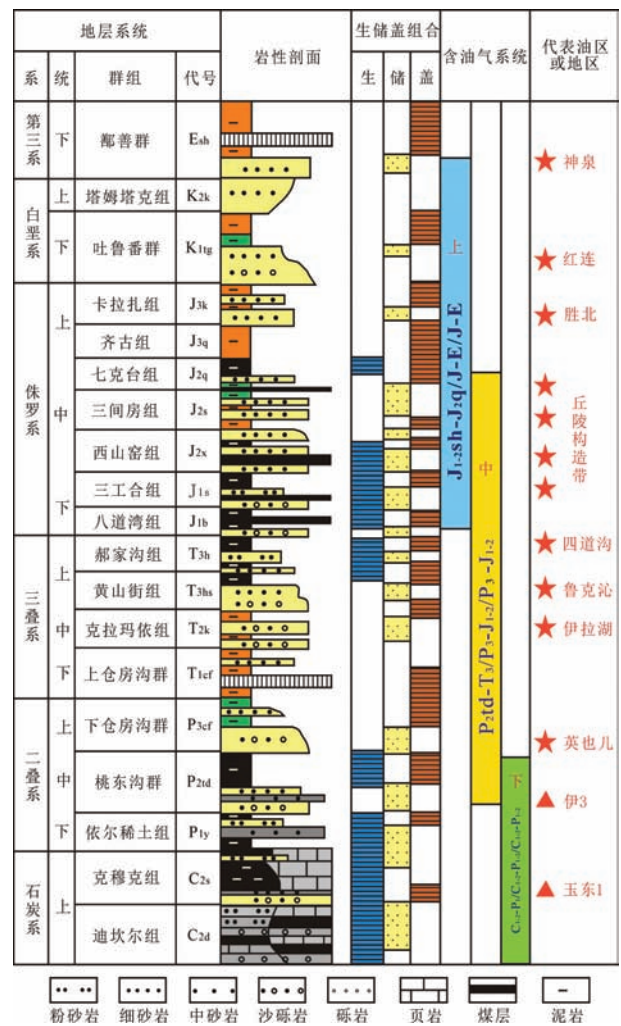


图9 吐哈盆地生储盖组合示意图^①
Fig. 9 Assemblage diagram of Turpan-Hami basin source reservoir cap^①

① 王志勇. 吐哈盆地含油气系统分析及勘探线优选[D]. 中国石油吐哈油田勘探开发研究院, 2005.

区域盖层,使上三叠统成为最好的储集层段。

(3)中、下二叠统桃东沟群内发育有一套盖层,厚度大、岩性纯、分布稳定,为一套优秀的区域性盖层,能够较好控制桃东沟群泥岩所生成页岩气的聚集与分布。

6.3 参数井油气显示

三叠统地层含气量范围一般在 $1.5\sim 4\text{ m}^3/\text{t}$,取平均值 $3\text{ m}^3/\text{t}$ 进行资源量估算。综合评价分析哈密三堡凹陷是寻找三叠系页岩气的有利区域。吐哈盆地哈4井上三叠统发育大套炭质泥岩、暗色泥岩夹煤层。富有机质泥页岩厚度为 150 m ;有机碳 TOC 含量在 $1.0\%\sim 20.5\%$ 变化,平均值为 2.88% ;成熟度 Ro 分布在 $0.8\%\sim 1.5\%$,平均值为 1.1% ;炭质泥岩段气测异常明显(图10)。

吐哈盆地中,中、下二叠统桃东沟群(图11)发

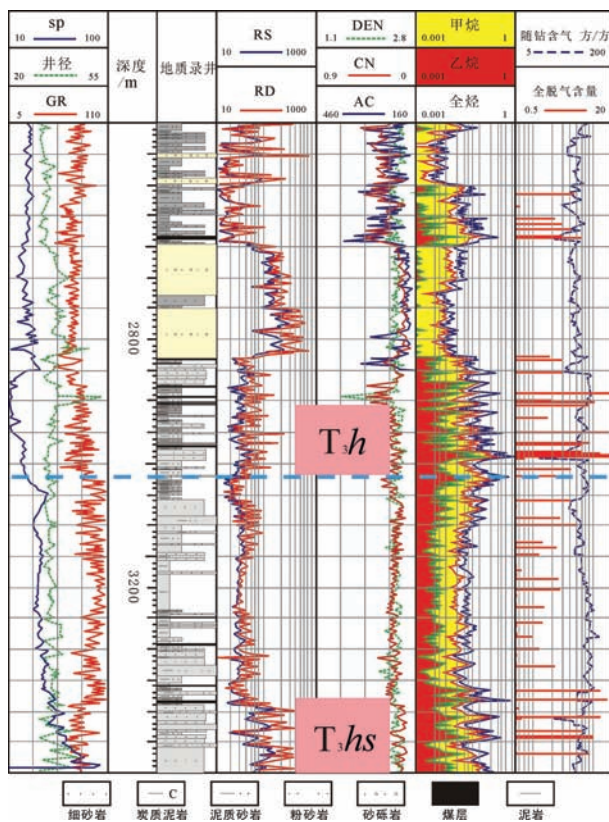


图10吐哈盆地哈4井三叠系页岩随钻含气评价图^①
Fig. 10 Ha4 well Triassic shale gas evaluation of Turpan-Hami Basin^①

育厚度较大、有机质含量较高的暗色泥岩。富有机质泥页岩厚度为 150 m ;有机碳 TOC 含量在 $1.0\%\sim 15.3\%$ 变化,平均值为 2.9% ;成熟度 Ro 分布在 $0.5\%\sim 0.8\%$ 范围内;炭质泥岩段气测异常明显。台南凹陷、台北凹陷南缘、托克逊凹陷的西部及北部地区是桃东沟期良好页岩的主要发育区。

7 有利区预测

通过研究吐哈盆地几套烃源岩的生烃潜力、岩石矿物成份对裂缝形成以及吸附页岩气能力的影响,并且分析泥页岩厚度、埋深以及附近盖层特征,最后综合参考国内学者提出的适用于中国页岩气工业的有利区综合评价标准^[28-30]做出有利区预测:

吐哈盆地中生界侏罗系镜质体反射率偏低,多数泥页岩处于低熟阶段,古生界石炭系泥页岩 TOC 含量较小,不利于大量生烃,两者皆不利于页岩气

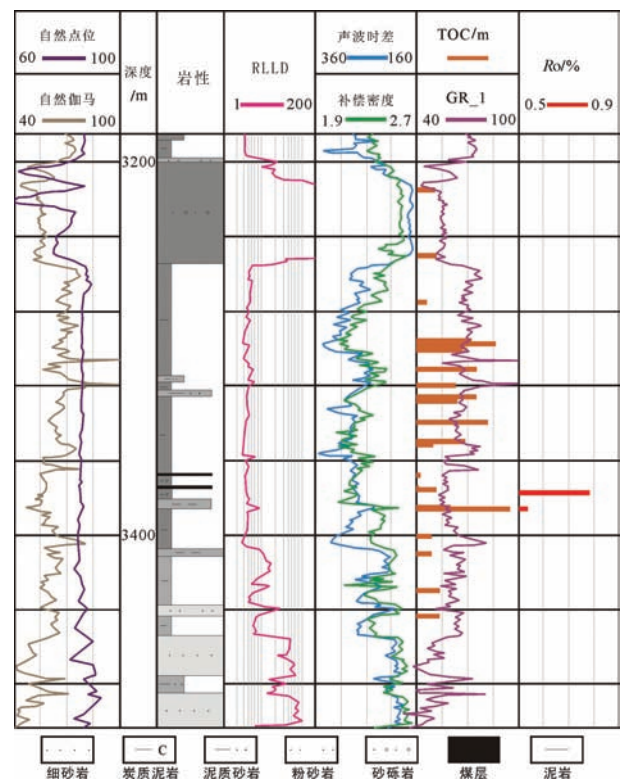


图11吐哈盆地艾参1井二叠系页岩评价综合图^②
Fig. 11 Aican1 well Permian shale comprehensive evaluation of Turpan-Hami Basin^②

①黄卫东. 吐哈探区源岩油气勘探开发前景评估及有利区块优选[D].中国石油吐哈油田勘探开发研究院. 2010.

②崔传智. 东疆地区页岩气潜力评价及有利区带优选[R].项目报告.2010.

的富集成藏^[1-13,30]。因此选择二叠系桃东沟群和中、上三叠统小泉沟群作为页岩气的主力研究层位。

中、上三叠统小泉沟群有利区分布于三堡凹陷;桃东沟群有利区分布于台南凹陷、台北凹陷中北部、托克逊凹陷中部及哈密坳陷的北部。

8 结论与认识

(1)吐哈盆地泥页岩分布面积广泛、厚度大,其中页岩分布较广的地层有机碳含量高、热演化程度高、有机质类型好。黄铁矿、黏土矿物含量较高,体现出较高的吸附能力;同时石英等脆性矿物含量高,易受外力作用影响形成天然裂缝与诱导裂缝网络结构,有利于页岩气以游离态的形式赋存。

(2)吐哈盆地各套富含有机质泥页岩层位内部或附近都发育有良好的盖层,为控制页岩气藏的聚集与分布提供有利条件。

(3)三叠系小群沟群和二叠系桃东沟群2套页岩气测结果显著,资源潜力巨大。其中三堡凹陷是三叠系页岩气勘探的有利区域;台南凹陷、台北凹陷南缘、托克逊凹陷的西部及北部地区是桃东沟群页岩气勘探有利区。

参考文献(References):

- [1] 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, 24(7): 15-18.
Zhang Jinchuan, Jin Zhijun, Yuan Mingsheng. Reservoiring mechanism of shale gas and its distribution[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(7): 15-18(in Chinese with English abstract).
- [2] 王崇敬, 陈健明, 张鹤, 等. 影响页岩气高产的地质因素分析[J]. 油气地球物理, 2014, 12(4): 50-54.
Wang Chongjing, Chen Jianming, Zhang He, et al. Impact of the geological factors on high shale gas productivity[J]. Petroleum Geophysics, 2014, 12(4): 50-54(in Chinese with English abstract).
- [3] Hao Fang, Zou Huayao. Cause of shale gas geochemical anomalies and mechanisms for gas enrichment and depletion in high-maturity shales[J]. Marine and Petroleum Geology, 2013, 44: 1-12.
- [4] 邹才能, 董大忠, 王社教, 等. 中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(6): 641-653.
Zou Caineng, Dong Dazhong, Wang Shejiao, et al. Geological characteristics and resource potential of shale gas in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(6): 641-653(in Chinese with English abstract).
- [5] 张民山, 张进学, 于拥军, 等. 吐哈盆地地质结构和油气聚集规律的新认识[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(3): 190-192.
Zhang Mingshan, Zhang Jinxue, Yu Yongjun, et al. New understandings about geological structures and hydrocarbon accumulation mode in Turpan-Hami basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(3): 190-192(in Chinese with English abstract).
- [6] 姜呈馥, 王香增, 张丽霞, 等. 鄂尔多斯盆地东南部延长组长7段陆相页岩气地质特征及勘探潜力评价[J]. 中国地质, 2013, 40(6): 1880-1888.
Jiang Chenfu, Wang Xiangzeng, Zhang Lixia, et al. Geological characteristics of shale and exploration potential of continental shale gas in 7th member of Yanchang Formation, southeast Ordos Basin[J]. Geology in China, 2013, 40(6): 1880-1888(in Chinese with English abstract).
- [7] 柳妮, 林良彪, 陈洪德, 等. 四川盆地川西北地区侏罗系自流井组大安寨段页岩气聚集条件[J]. 中国地质, 2014, 41(5): 1664-1672.
Liu Ni, Lin Liangbiao, Chen Hongde, et al. Shale gas accumulation conditions in Daanzhai Member of lower Jurassic Ziliujing Foramtion in the northwest of Sichuan Basin[J]. Geology in China, 2014, 41(5): 1664-1672(in Chinese with English abstract).
- [8] 顾志翔, 彭勇民, 何幼斌, 等. 湘中坳陷二叠系海陆过渡相页岩气地质条件[J]. 中国地质, 2015, (1): 288-299.
Gu Zhixiang, Peng Yongmin, He Youbin, et al. Geological conditions of Permian sea-land transitional facies shale gas in the Xiangzhong depression[J]. Geology in China, 2015, (1): 288-299 (in Chinese with English abstract).
- [9] 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(2): 140-148(in Chinese with English abstract).
- [10] 王劲松, 王华, 梁世君, 等. 吐哈盆地天然气勘探潜力分析[J]. 石油实验地质, 2009, 31(4): 334-337.
Wang Jinsong, Wang Hua, Liang Shijun, et al. Analysis on exploration potential of natural gas in the Turpan-Hami basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(4): 334-337(in Chinese with English abstract).
- [11] 孙玉凯, 李新宁, 何仁忠, 等. 吐哈盆地页岩气有利勘探方向[J]. 新疆石油地质, 2011, 32(1): 5-6.
Sun Yukai, Li Xinning, He Renzhong, et al. Favorable targets for shale gas exploration in Tuha basin[J]. XinJiang Petroleum Geology, 2011, 32(1): 5-6(in Chinese with English abstract).
- [12] 苏传国, 黄卫东, 白喜俊, 等. 吐哈盆地天然气成藏地质条件与富集因素分析[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(1): 51-56.
Su Chuanguo, Huang Weidong, Bai Xijun, et al. Natural gas accumulation conditions and controlled factors in Turpan-Hami basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(1): 51-56(in Chinese with English abstract).
- [13] 陈煦, 牛仁杰, 成进湖. 吐哈盆地中二叠统一三叠系层序地层学分析[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(6): 495-497.
Chen Xu, Niu Renjie, Cheng Jinhu. The sequence stratigraphy of

- Middle Permian– Triassic in Turpan– Hami basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2003,24(6): 495– 497(in Chinese with English abstract).
- [14] 徐士林, 包书景. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组页岩气形成条件及有利发育区预测[J]. *天然气地球科学*, 2009,20(3):460–465. Xu Shilin, Bao Shujing. Preliminary analysis of shale gas resource potential and favorable ares in Ordos Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009,20(3):460– 465(in Chinese with English abstract).
- [15] 李玉喜, 乔德武, 姜文利, 等. 页岩气含气量和页岩气地质评价综述[J]. *地质通报*, 2011, 30(2/3): 308–317. Li Yuxi, Qiao Dewu, Jiang Wenli, et al. Gas content of gas-bearing shale and its geological evaluation summary[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011 30(2/3): 308–317(in Chinese with English abstract).
- [16] 李延钧, 刘欢, 刘家霞, 等. 页岩气地质选区及资源潜力评价方法[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2011, 33(2): 28–34. Li Yanjun, Liu Huan, Liu Jiaxia, et al. Geological regional selection and an evaluation method of resource potential of shale gas [J]. *Journal of Southwest Petroleum University:Science & Technology Edition*, 2011, 33(2): 28–34(in Chinese with English abstract).
- [17] 李武广, 杨胜来, 页岩气开发目标区优选体系与评价方法[J]. *天然气工业*, 2011, 31(4): 57–62. Li Wuguang, Yang Shenglai. Research on shale gas development target area of optimization system and evaluation[J]. *Natural Gas Industry*, 2011, 31(4): 57–62(in Chinese with English abstract).
- [18] 蒋裕强, 董大忠, 漆麟, 等. 页岩气储层的基本特征及其评价[J]. *天然气工业*, 2010,30(10): 7–12. Jiang Yuqiang, Dong Dazhong, Qi Lin, et al. Basic feature and evaluation of shale gas reservoirs[J]. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(10): 7–12(in Chinese with English abstract).
- [19] Broadhead R F, Kepferle R C, Potter P E. Stratigraphic and sedimentologic controls of gas in shale: Examples from Upper Devonian of northern Ohio[J]. *AAPG Bulletin*, 1982, 66(1): 10–27.
- [20] Ding Wenlong. Fracture development in shale and its relationship to gas accumulation[J]. *Geoscience Frontiers*, 2012, 3(1): 97–105.
- [21] Ursula H, Scott H, Thomas E E. Geologic analysis of Upper Jurassic Haynesville Shale in east Texas and west Louisiana[J]. *AAPG Bulletin*, 2011,95(10): 1653–1666.
- [22] 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 Haikuang, 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(in Chinese with English abstract).
- [23] 王炜, 刘若冰, 倪凯. 川东北侏罗系千佛崖组页岩气勘探潜力分析[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2012, 27(6):36–41. Wang Wei, Liu Ruobing, Ni Kai. Analysis of the exploration potential of shale gas in Jurassic Qianfoya Formation in Northeast Sichuan Basin[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition)*, 2012, 27(6): 36– 41(in Chinese with English abstract).
- [24] 胡文瑞, 翟光明, 雷群, 等. 非常规油气勘探开发新领域与新技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008. Hu Wenrui, Zhai Guangming, Lei Qun, et al. *New Fields and Technique of Unconventional Petroleum Exploration and Development*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008 (in Chinese).
- [25] 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. Dong Dazhong, Cheng 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 (in Chinese with English abstract).
- [26] 薛浩, 高华新. 中国页岩气现状和未来简介 [J]. *上海节能*, 2012, 9. Xue Hao, Gao Huaxin. The brief introduction of status and future in shales of China[M]. *Shanghai Energy Conservation*, 2012, 9(in Chinese with English abstract).
- [27] 刘洪林, 王红岩, 刘仁和, 等. 中国页岩气资源及其勘探潜力分析[J]. *地质学报*, 2010, 84(9): 1374–1378. Liu Honglin, Wang Hongyan, Liu Renhe, et al. China shale gas resources and prospect potential[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84 (9): 1374–1378 (in Chinese with English abstract).
- [28] 张雪芬, 陆现彩, 张林晔. 页岩气的赋存形式研究及其石油地质意义[J]. *地球科学进展*, 2010,25(6): 597–604. Zhang Xuefen, Lu Xiancai, Zhang Linye, et al. Occurrences of shale gas and their petroleum geological significance[J]. *Advances in Earth Science*, 2010, 25(6): 597– 604(in Chinese with English abstract).
- [29] 刘大锰, 李俊乾, 李紫楠. 我国页岩气富集成藏机理及其形成条件研究[J]. *煤炭科学技术*, 2013,41(9): 66–74. Liu Dameng, Li Junqian, Li Zinan. Research on enrichment and accumulation mechanism of shale gas and its formation conditions in China[J]. *Coal Science and Technology*, 2013,41(9): 66–74(in Chinese with English abstract).
- [30] 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).