

中扬子地区非常规天然气资源潜力及勘查方向

康玉柱*

中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083

* 通信作者, kangyz.syky@sinopec.com

收稿日期: 2020-04-20

摘要 中扬子地区位于中国南方中部, 包括湖北省大部、湖南省西北部。其地貌类型复杂多样, 以山地为主。构造上可划分为江汉盆地、秭归盆地、湘鄂西隆起地区、湘中地区和洞庭湖地区。近年来, 非常规油气勘探取得了新进展。该区发育多套烃源岩, 油气资源十分丰富, 具有多时代多类型成藏组合, 非常规油气资源潜力大, 是我国非常规油气勘查重要地区之一。

关键词 非常规; 天然气; 成藏; 源潜力大

Potential and exploration direction of unconventional natural gas resources in the middle Yangtze Region

KANG Yuzhu

Sinopec Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China

Abstract The middle Yangtze region is located in the middle of South China, including most of Hubei Province and the northwest of Hunan Province. Its geomorphic types are complex and diverse, and it is mainly mountainous. Structurally, it can be divided into the Jianghan Basin, Zigui Basin, Western Hunan Hubei uplift area, central Hunan area and the Dongting Lake area. In recent years, unconventional gas exploration has made new progress. There are many sets of source rocks in this area, which are rich in oil and gas resources. It has multi age and multi type accumulation combinations. This area has great potential for unconventional oil and gas resources and it is one of the important areas for unconventional oil and gas exploration in China.

Keywords unconventional; natural gas; accumulation; great resource potential

doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2020.02.014

0 前言

中扬子地区位于中国南方中部, 以隆起构造格局为主。近年来, 非常规油气勘查取得了新进展。该区非常规天然气成藏条件较好, 具有多时代烃源岩, 震旦系—侏罗系均可提供气源。多层系储集层、多时代成藏组合至少有三套: 下古生界、上古生界及中生界,

有利于非常规天然气尤其是致密气成藏, 是当前和今后非常规油气勘探的重要地区之一^[1-5]。

1 非常规油气勘查新进展

近年来, 中扬子地区非常规油气勘查取得了重大进展。2015年在湖北西部建南建页HF-1井日产气稳

引用格式: 康玉柱. 中扬子地区非常规天然气资源潜力及勘查方向. 石油科学通报, 2020, 02: 141-147

KANG Yuzhu. Potential and exploration direction of unconventional natural gas resources in the middle Yangtze Region. Petroleum Science Bulletin, 2020, 02: 141-147. 10.3969/j.issn.2096-1693.2020.02.014

定在 3000 m³ 左右; 2017 年 5 月 22 日, 中国地质调查局组织在湖北西部宜昌地区部署的鄂杨页 1 并于井深 1527 m 下寒武统水井沱组黑色页岩中经水平井压裂, 试获高产天然气流, 日产气 12.38 × 10⁴ m³, 稳产 6 × 10⁴ m³/d; 2017 年在湖北宜昌地区, 鄂阳页 2 井震旦系获致密灰岩及白云岩气流, 实现中扬子地区致密气首次重大突破。

这一突破意义重大: 一是, 我国广大南方隆起构造区新地区、新层系、首次突破。二是, 中扬子地区下古生界寒武系首次发现, 填补了中扬子地区几十年下古生界无天然气的历史。三是, 拉开了中扬子地区

下古生界油气勘探开发的序幕。四是, 这里是中国和世界最古老层系的致密气。五是, 寒武系页岩气藏是常压、低温、多应力系统条件下形成的, 具有典型性。因此, 这一突破具有历史性、开拓性、导向性的里程碑意义。

2 地层沉积概况

区内从震旦系到二叠系沉积齐全, 且分布广泛。中生界也有较广泛分布, 为致密气藏的形成奠定了雄厚的物质基础(表 1 及图 1~3)。

表 1 江汉地区地层简表

Table 1 Brief table of strata in the Jianghan area

界	系	统	地方性地层名称	代号	厚度/m
新生界	第四系	全新统		Qh	>40
		更新统		Qp ³	30~40
				Qp ²	15~40
				Qp ¹	20
	上白垩统一第三系 (古近一新近系)			K ₂ -R	>1341
中生界	下白垩统	下统	上火山岩组	K ₁	2113
		上统	灵乡群	J ₃ ln	635
	侏罗系	中统	下火山岩组	J ₂ ^b	139
				J ₂ ^a	>494
		下统	武昌群	J ₁ Wc	424
	三叠系	上统	蒲圻群	T ₃ Pq	>1296
		中统	嘉陵江组	T ₂ jl	>281
		下统	大冶组	T ₁ dy	247~316
		二叠系	上统	大隆组	P ₂ d
	龙潭组			P ₂ l	37~73
下统	茅口组		P ₁ m	77~104	
古生界	石炭系	上统	栖霞组	P ₁ q	105~238
			船山群	C ₃ Ch	0~35
			黄龙群	C ₁ Hn	30~108
	泥盆系	中统	大塘组	C ₁ d	0~44
		上统		D ₃	0~118
	志留系	上统	茅山组	S _m , S ₂₋₃	>147
		中统	坟头组	S ₂ f	90~700
		下统	高家边组	S ₁ g	833~1461
	奥陶系	中—上统		O ₂₊₃	25~100
		下统		O ₁	440~500
寒武系	上统	立秋湾组	€ ₂ l	709	
		高台组	€ ₂ g	29	
	下统	东坑组	€ ₁ d	297	
新元古界	震旦系	上统	灯影组	Z ₂ d	300
		下统	南沱组	Z ₁ n	52
	前震旦系			ArZ	>8600

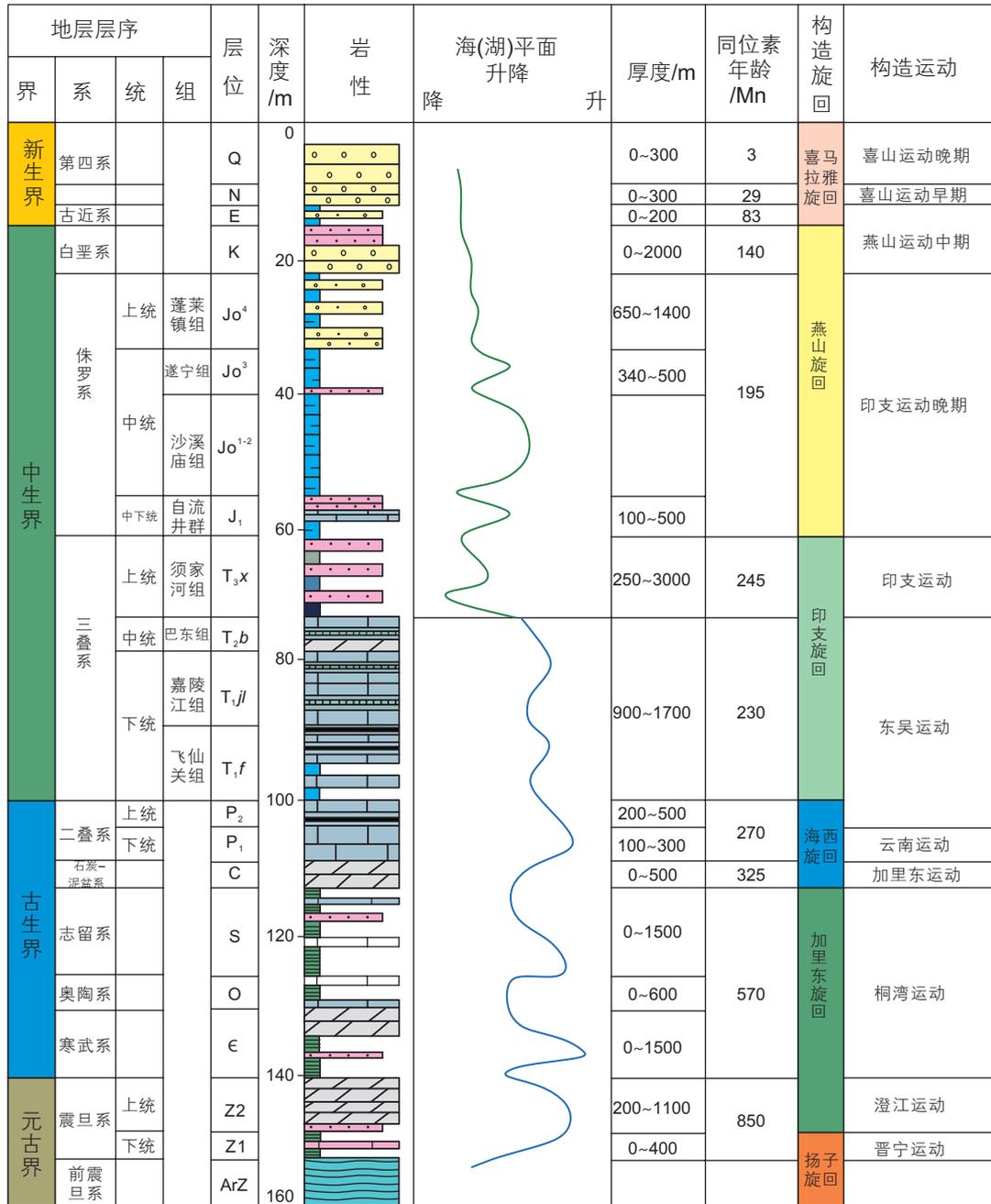


图 1 中扬子地区沉积演化柱状图(据国土资源部)

Fig. 1 Histogram of sedimentary evolution in the middle Yangtze Region(according to the Ministry of land and resources)

3 中扬子地区天然气资源潜力大

3.1 发育多套烃源岩

中扬子地区发育 6 套泥页岩层系, 分别为上二叠统吴家坪组/大隆组、下二叠统梁山组、中上石炭统、上奥陶统五峰组一下志留统、下寒武统水井沱组一天

河板组、上震旦统灯影组(横向相变)和下震旦统陡山沱组, 以上 6 套泥页岩地层区域较稳定, 构成中扬子地区油气资源基础和页岩气最有可能发育层系。

(1) 下震旦统陡山沱组泥页岩

陡山沱组泥页岩厚度一般为 25~70 m, 最厚可达 302 m(湖北三峡地区), 有机碳含量为 0.41%~12.62%, 氯仿“A”为(20~84)×10⁻⁶, 以腐泥型(I型)有机质为主, R₀ 值为 2.59%~3.84%, 处于过成熟干气阶段。

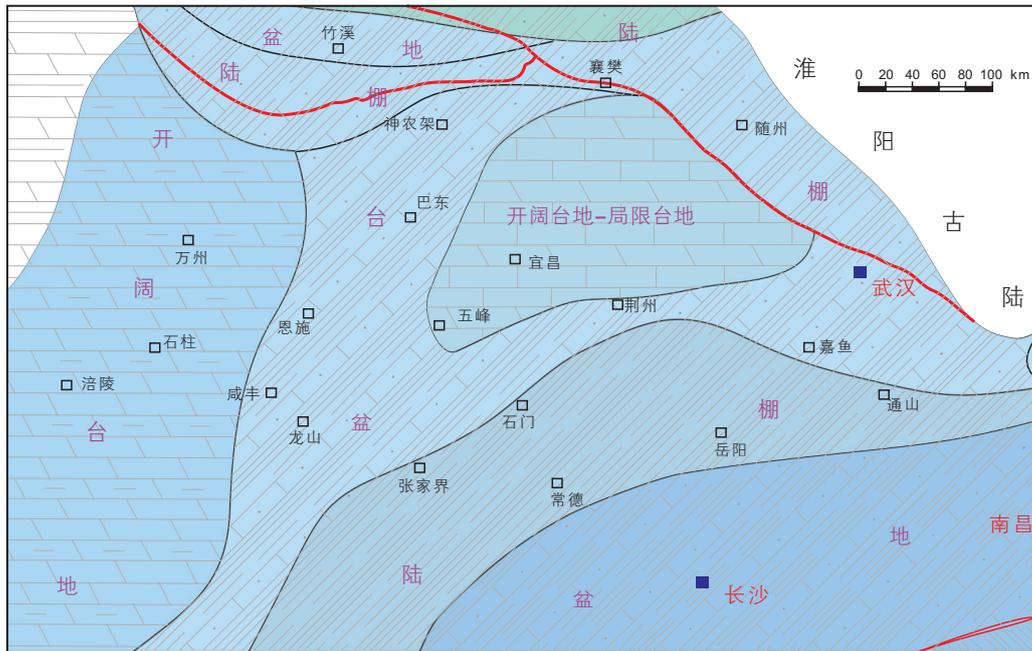


图2 中扬子早震旦世陡山沱期岩相古地理图(据江汉油田)

Fig. 2 Lithofacies paleogeography map of the early Sinian Doushantuo period in the middle Yangtze Region (According to Jiangnan Oilfield)

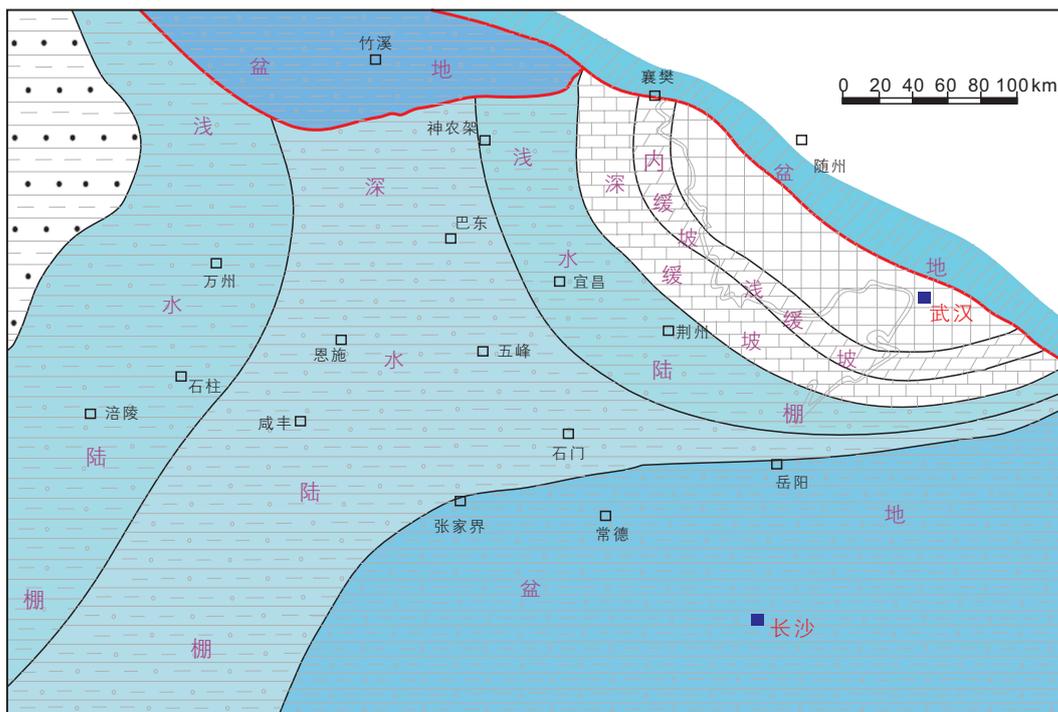


图3 中扬子早寒武世早期岩相古地理图(据江汉油田)

Fig. 3 Lithofacies paleogeography map of the early Cambrian in the middle Yangtze Region (According to Jiangnan Oilfield)

(2)下寒武统水井沱组(木昌组)泥页岩

早寒武世水井沱期,随着海平面的上升,本区地层沉积以黑色含炭质页岩为主,夹少量粉砂岩、粉砂

质页岩(图3)。

水井沱组黑色泥页岩系的分布范围、厚度及有机碳含量在区域上基本稳定,其岩层厚度为50~500 m,

有机质丰度高,有机碳含量为0.11%~18.19%,以大于2.0%为主,氯仿“A”的含量为 $(5\sim 840)\times 10^{-6}$,以腐泥型(I型)有机质为主,次为腐殖腐泥型(II型), R_o 值为3.07%~3.81%,处于过成熟干气阶段。

(3) 上奥陶统五峰组泥页岩

五峰组的岩性主要为黑色泥页岩、炭质页岩、硅质页岩、粉砂质页岩,也有薄层硅岩,上部见少量泥灰岩,富含笔石,为笔石相,但含硅质岩和放射虫,为低能沉积环境;岩石厚度一般仅数米至数十米。

五峰组页岩有机质丰度高,有机碳含量为0.29%~4.54%,以大于1.5%为主,氯仿“A”含量为 $(12\sim 191)\times 10^{-6}$,以腐泥型(I型)有机质为主,次为腐殖腐泥型(II₁型);上扬子地区 R_o 值为2.79%~3.98%,处于过成熟干气阶段,中扬子地区热演化程度稍低, R_o 值一般2.0%。

(4) 下志留统龙马溪组泥页岩

下志留统龙马溪组岩性主要为灰色至灰黑色泥页岩夹粉砂质泥页岩,局部夹粉细砂岩;局限浅海陆架沉积以灰色至黑色炭质泥页岩为主,下部多为黑色笔石页岩,局部夹粉细砂岩,岩层厚度100~700 m。

龙马溪组有机碳含量变化较大,分布在0.29%~4.8%,多数大于1%,平均值可达2.11%,且呈现自下而上有机碳含量逐渐减少的特点;氯仿“A”为 $(18\sim 55)\times 10^{-6}$,以腐泥型I型或腐泥腐植型II₁型为主;由于龙马溪组与其下的五峰组烃源岩形成叠置,因此其泥页岩热演化程度与上奥陶统基本一致,在上扬子地区 R_o 值一般为1.9%~3.05%,已处于过成熟干气阶段。在中扬子地区热演化程度稍低, R_o 值一般小于2.0%^[6-7]。

(5) 石炭系

岩性为暗色灰岩,总厚度80~100 m,有机质丰度为0.8~5%,平均为1.0%~3.5%。有机质类型为I-II型为主,热演化程度 R_o 值一般大于2.0%。

(6) 二叠系

上二叠统大隆组和龙潭组烃源岩岩性为暗色硅质页岩、泥页岩,粉砂质泥岩,钙质泥页岩夹砂岩,总厚度80~200 m,有机质丰度为0.8%~5%,平均为1%~3.5%。有机质类型为II-III型,热演化程度 R_o 值一般大于2.0%。

(7) 侏罗系

岩性为泥页岩、粉砂质泥岩、炭质泥页岩夹煤。总厚度60~70 m,有机质丰度为0.8%~2%,有机质类型为II-III型,热演化程度 R_o 值一般大于1.0%。

笔者参考前人对古生界油气资源评价资料,进一步

根据近年来油气勘探新进展再次对中扬子地区古生界天然气资源量进行了估算,为 $12\times 10^{12}\sim 15\times 10^{12}\text{ m}^3$ 。

3.2 多时代成藏组合

(1) 多层段自生自储组合,如震旦系、寒武系、奥陶—志留系、上二叠统侏罗系等,各时代生、储、盖发育良好,自成良好的组合体系。

(2) 多时代旋回性生、储、盖重组,如震旦—寒武系,寒武—志留系,石炭—二叠系,下古生界烃源岩与上古生界储盖组合等,因此,油气聚集空间十分广泛(图4)。

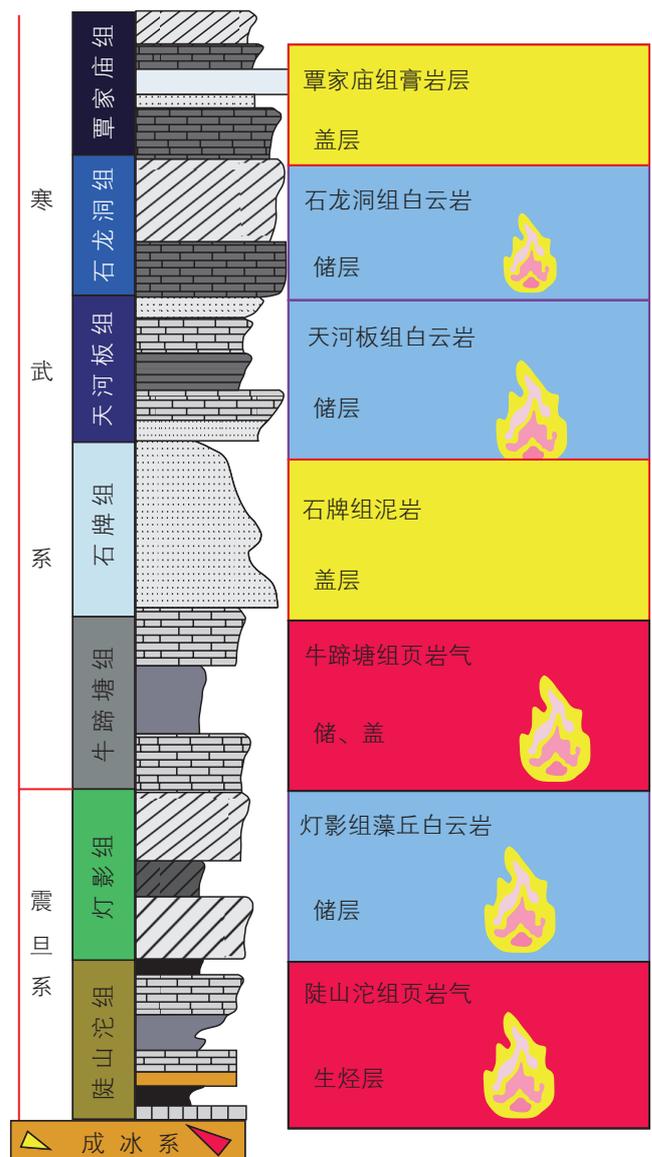


图4 湖北省宜昌地区寒武—震旦系成藏组合图

Fig. 4 Cambrian Sinian reservoir forming assemblage in Yichang area, Hubei Province

4 天然气类型及分布特征

4.1 非常规天然气

第一, 致密岩天然气。主要分布于古生界碎屑岩层系中, 如上志留统砂岩、石炭—二叠系砂岩; 古生界各层系致密碳酸盐岩、侏罗系砂岩等^[8-11]。

第二, 泥页岩天然气, 包括震旦系、下寒武统、上奥陶—下志留统的泥页岩中富含天然气。实践证明下古生界泥页岩气资源丰富^[8-11]。

第三, 致密气资源潜力大^[8-11]。

1) 致密气分布广, 从震旦系—古近系均有分布, 勘查空间大。

2) 有烃源岩层系(震旦系—古近系), 就存在致密气。

3) 有泥页岩的层系中或上下层段, 很可能存在致密气。

4) 近年来, 致密气已出现快速发展的态势, 致密气是中国非常规油气发展最快的类型之一。

4.2 常规天然气

常规天然气主要富集于海相碳酸盐岩层系中。第一, 各时代碳酸盐岩中的生物礁、生物滩, 颗粒滩等。第二, 碳酸盐岩顶面风化壳缝洞储集体, 如上震旦统与下寒武统之间的风化壳; 石炭系与下奥陶系碳酸盐岩的风化壳; 二叠系或与下伏下古生界碳酸盐岩的风化壳等; 古生界各层系碳酸盐岩古岩溶缝洞体内。

5 致密气“甜点”形成和主要指标

致密油气分布富集高产受“甜点”体控制, 表现为局部富集。“甜点”的发育主要取决于致密油气形成的构造背景、烃源岩与储层发育等因素^[8-11];

- (1) 具有优质的厚度较大的烃源岩;
- (2) 烃源岩与致密砂岩或碳酸盐岩互层状;
- (3) 储层孔隙度 7%~10%, 渗透率 0.05~0.1 mD;
- (4) 砂岩脆性矿物含量大于 50%;
- (5) 砂岩胶结物以钙质或硅质为主;
- (6) 砂岩层理、纹理发育;
- (7) 砂岩或碳酸盐岩裂缝发育;
- (8) 含油气饱和度较高, 油质较好;
- (9) 必须有圈闭存在。

6 油气勘探方向

6.1 下古生界油气勘探方向

据目前油气勘探技术水平, 应把重点油气勘探地区放在鄂西宜昌地区和湘西地区。该区下古生界油气成藏条件优越, 而且目的层埋藏较浅, 一般 3500~5000 m, 钻探各类施工可行。

6.2 上古生界油气勘探方向

以鄂中和湘中地区为重点, 次为鄂西和湘西地区。

6.3 中新生界油气勘探方向

以江汉盆地、秭归盆地及洞庭湖地区及其周围为重点。

7 结论

综上所述, 中扬子地区中古生代地层发育齐全, 分布广泛。具有多时代烃源岩, 天然气资源丰富, 勘探潜力大。发育多套成藏组合, 保存条件相对较好, 且已在下寒武统获高产气流, 另在下志留统、上震旦统获气流。因此, 中扬子地区是中国南方中古生界非常规天然气勘探重要接替区。

参考文献

- [1] 康玉柱. 塔里木盆地古生代海相油气田[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992. [KANG Y Z. Paleozoic marine oil and gas fields in Tarim Basin[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992.]
- [2] 康玉柱, 孙红军, 等. 中国古生代海相油气地质学[M]. 北京: 地质出版社, 2012. [KANG Y Z, SUN H J, et al. Paleozoic marine petroleum geology of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2012.]
- [3] 康玉柱, 蔡希源. 中国古生代海相油气田形成条件及分布规律[M]. 新疆: 新疆科技出版社, 2002. [KANG Y Z, CAI X Y. Formation conditions and distribution of Paleozoic marine oil and gas fields in China [M]. Xinjiang: Xinjiang Science and Technology Press, 2002.]
- [4] 康玉柱. 中国非常规泥页岩油气藏特征及勘探前景展望[J]. 天然气工业, 2012, 32(4): 1-5. [KANG Y Z. Characteristics and exploration prospect of unconventional shale oil and gas reservoirs in China [J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(4): 1-5.]

- [5] 康玉柱, 陈新华. 中国石炭—二叠系致密岩油气资源潜力分析[J]. 新疆石油地质, 2014, 35(4): 375–379. [KANG Y Z, CHEN X H. Petroleum resources potential analysis of Carboniferous Permian tight rocks in China [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2014, 35(4): 375–379.]
- [6] 康玉柱, 张大伟, 赵先良, 等. 中国非常规油气地质学[M]. 北京: 地质出版社, 2015. [KANG Y Z, ZHANG D W, ZHAO X L, et al. Unconventional petroleum geology of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015.]
- [7] 陈更生, 董大忠, 王世谦, 等. 页岩气藏形成机理与富集规律初探[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 17–21. [CHEN G S, DONG D Z, WANG S Q, et al. A preliminary study on accumulation mechanism and enrichment pattern of shale gas[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5): 17–21.]
- [8] 翟刚毅, 包书景, 庞飞, 等. 贵州遵义地区安场向斜四层楼页岩油气成藏模式研究[J]. 中国地质, 2017, 44(1): 1–12. [ZHAI G Y, BAO S J, PANG F, et al. Reservoir-forming pattern of “four-storey” hydrocarbon accumulation in Anchang syncline of northern Guizhou Province [J]. Geology in China, 2017, 44(1): 1–12.]
- [9] 邹才能. 非常规油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2011. [ZOU C N. Unconventional oil and gas geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011.]
- [10] 胡文瑞, 翟光明, 李景明. 中国非常规油气的潜力和发展[J]. 中国工程科学, 2010, 12(5): 25–29. [HU W R, ZHAI G M, LI J M. Potential and development of unconventional hydrocarbon resources in China[J]. Strategic Study of CAE, 2010, 12(5): 25–29.]
- [11] 贾承造, 郑民, 张永峰. 中国非常规油气资源与勘探开发前景[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(2): 129–136. [JIA C Z, ZHENG M, ZHANG Y F. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(2): 129–136.]

(编辑 付娟娟)