

文章编号:0253-9985(2008)05-0589-08

中、上扬子区志留系油气成藏特点与勘探前景

肖开华,李双建,汪新伟,张荣强,龙胜祥

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:中、上扬子区上奥陶统一志留系优质烃源岩主要发育于上奥陶统五峰组和下志留统底部,以好烃源岩—最好烃源岩为主。志留系碎屑岩和碳酸盐岩两类储集岩均以低孔低渗—特低孔低渗为特征,碎屑岩是主要储集岩类。下志留统龙马溪组为优势盖层发育层位,是一套良好的区域性盖层,现今总体上处于中成岩B期—晚成岩期,虽演化程度高,但仍具有良好的封盖能力。上扬子川东地区大规模生烃期较早,大部分志留系烃源岩在中侏罗世就达到了生油高峰;中扬子区大部分志留系烃源岩达到生油高峰期较晚,为晚三叠世。古构造控制着志留系油气的运移方向和聚集部位,川东南—鄂西渝东为志留系天然气勘探最有利区,江汉平原南部冲断褶皱区为有利区。

关键词:成藏条件;成藏特点;勘探前景;志留系;中、上扬子区

中图分类号:TE112.3

文献标识码:A

Hydrocarbon accumulation features and exploration direction in the Silurian of the Middle-Upper Yangtze Platform

Xiao Kaihua, Li Shuangjian, Wang Xinwei, Zhang Rongqiang, Long Shengxiang

(SINOPEC Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: High quality source rocks in the Upper Ordovician and the Lower Silurian in southern China are mainly developed in the Wufeng Formation of the Upper Ordovician and at the bottom of the Lower Silurian. Both the Silurian clastic reservoirs and carbonate reservoirs feature in low- and ultra-low porosity and permeability and the former is the predominant reservoir type. The Lower Silurian Longmaxi Formation is a set of quality regional seal and is in the B to late stage of diagenesis as a whole. Although being at high level of evolution, they serve as good sealing for petroleum accumulations. The eastern Sichuan basin of the Upper Yangtze Platform had witnessed large-scale hydrocarbon generation in a relatively early time with most of the Silurian source rocks reaching hydrocarbon generation peak during the middle Jurassic; while most of the Silurian source rocks in the Middle Yangtze Platform entered hydrocarbon generation peak late in the Late Triassic. The hydrocarbon migration and accumulation during the Silurian were controlled by Paleo-tectonic evolution. Therefore, it is suggested that the southwestern Sichuan provinces, western Hubei Province, and eastern Chongqing municipality are the most favorable areas for exploration of Silurian gas, while the thrust-fold area in the southern Jiangnan plain is the favorable area.

Key words: accumulation condition; accumulation character; exploration prospect; Silurian; Middle and Upper Yangtze Platform

长期以来,中、上扬子地区志留系一直被认为是南海相油气勘探的优质性烃源岩和区域盖层,对志留系本身成藏条件的研究比较少^[1-3]。

位于石柱复向斜的建深1井,在2006年12月1日对志留系韩家店组进行中途测试时,获得 $5.13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的工业气流,证明该区志留系具有良好的

收稿日期:2008-08-18。

第一作者简介:肖开华(1963—),男,高级工程师,石油天然气地质勘探。

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2005CB422108);中国石油化工股份有限公司科技部攻关项目(P05040)。

勘探前景。

中、上扬子区晚奥陶世—志留纪具有前陆盆地、克拉通盆地和被动大陆边缘盆地3种盆地类型^[4],不同时期盆地展布特征各异,扬子板块主体以克拉通盆地为主。空间上构成了前陆盆地—被动大陆边缘盆地的沉积模式,发育盆地相、陆棚相、滨岸相、潮坪相等多种沉积相类型^[5-10],有利的沉积环境决定了其优越的原始成油气地质条件。但是,由于多年来志留系勘探程度较低,制约了人们对志留系自身油气成藏特点的研究和认识。本文利用最新的勘探成果资料,着重从志留系自身基本石油地质特征研究入手,结合不同时期志留系顶面的古构造分析,试图对中、上扬子地区志留系油气成藏的基本特点进行总结,并指出其有利勘探方向。

1 成藏地质条件

1.1 烃源条件

中、上扬子区上奥陶统一志留系优质烃源岩主要发育于上奥陶统五峰组和下志留统底部,其岩性以碳质页岩和碳—硅质页岩等黑色泥页岩系为主。有机碳值一般大于0.5%,以好烃源岩—最好烃源岩为主。

1.1.1 烃源岩的时空分布

中、上扬子区上奥陶统五峰组烃源岩厚度不大,一般为几米至十多米,但分布几乎遍及中、上扬子区,主体呈北东向的带状分布,具多个烃源岩发育中心,自西向东分别为盐津—长宁—荣县、威信—古蔺、桐梓县附近、酉阳—宣恩—五峰和巴东—远安—荆门—随州。

下志留统烃源岩集中分布于龙马溪组底部,厚度较五峰组厚,一般30~100 m。分布几乎遍及中、上扬子区。有机碳含量一般较高,多属最好的烃源岩,为中、上扬子区最重要的烃源层之一。上扬子区龙马溪组烃源岩的分布呈现出多个中心,从西向东分别为布拖—宜宾—泸州—荣昌烃源岩发育中心、道真—武隆烃源岩发育中心和川东北城口—安康烃源岩发育中心。中扬子区龙马溪组底部以黑色笔石泥页岩为主,具有鹤峰—枝江和嘉鱼—咸宁两个烃源岩发育中心。扬子北部边缘下

志留统源岩因后期构造改造强烈,烃源岩保存范围不大,但从志留系砂岩中广布的碳沥青分析,其在地史中曾生成过大量的油气,并曾向扬子地台的隆起带发生过运移。

从纵向上看,优质烃源岩主要发育于上奥陶统顶部—下志留统底部,但建深1井钻探表明除下志留统龙马溪底部的烃源岩外,在鄂西渝东区的志留统韩家店组和下志留统小河坝组还发育有局部性的烃源岩,井深3 848~3 898 m的韩家店组的灰色泥岩有机碳达1.66%,井深4 048~4 098 m的小河坝组的灰色泥岩有机碳达0.54%。从平面上看,上扬子区的川东南—鄂西渝东区优质烃源岩最发育。根据烃源层优劣、阶段生烃量、构造改造程度与阶段生烃量的匹配关系,认为川东南—鄂西渝东区五峰组—下志留统烃源条件最好,其次为中扬子的江汉平原区。

1.1.2 优质烃源岩的发育环境

$V/(V+Ni)$, Ni/Co , δCe , δEu 和 $\delta^{13}C_{org}$ 等地球化学指标与有机碳含量变化的对应关系研究表明,彼此间均具有良好的相关性,这些指标的异常均表明上奥陶统一志留统优质烃源岩发育于缺氧环境^[11-17]。从古气候和古海洋洋流的研究结果看,上奥陶统五峰组烃源岩与下志留统龙马溪组烃源岩的发育因素有明显的不同^[18],五峰组优质烃源岩发育的主要控制因素为上升洋流,龙马溪组优质烃源岩发育的主要因素为有利的滞流缺氧环境和海侵初期对陆源碎屑的抑制作用。

1.2 储层条件

志留系发育有碎屑岩和碳酸盐岩两类储集岩,其中碎屑岩是主要储集岩类。碎屑岩储层除下志留统下部不发育外,其余层段均较发育,主要分布于中、上扬子区的下志留统小河坝组和中志留统的韩家店组及贵州地区的翁项群二、三段^[19]。碳酸盐岩储层主要发育于川南—黔北地区下志留统石牛栏组。两类储层均以低孔低渗—特低孔低渗为特征。

1.2.1 碎屑岩储层

中、上扬子区志留系碎屑岩储层岩性以粉砂岩和细砂岩为主,储集空间主要为粒间孔、溶蚀

孔、裂缝等,孔隙结构特征显示为细孔微喉型。孔隙类型主要是残余的粒间微孔隙及粒内溶蚀微孔隙。表现为低孔、低渗、孔喉直径小的特点,粉砂岩和细砂岩的孔隙度一般为2.5%~4.0%,渗透率为 $0.01 \times 10^{-3} \sim 0.02 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表1),其中上扬子凯里地区翁项组物性最好,3块样品的孔隙度为4.40%~14.94%,平均8.44%,渗透率为 $0.0962 \times 10^{-3} \sim 235.00 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $78.404 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。在裂缝存在时,储层的孔隙度、渗透率均有所提高,形成有效储集空间,如川南三汇剖面小河坝组砂岩孔隙度最高9.4%,渗透率为 $1.54 \times$

$10^{-3} \sim 5.19 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

而建深1井、五科1井、太1井的井下样品物性明显较地面露头样品的物性要差。如建深1井韩家店组3块极细砂岩孔隙度为0.48%~2.90%,平均1.55%,渗透率为 $0.010 \times 10^{-3} \sim 0.018 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $0.013 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,12块粉砂岩孔隙度为0.4%~1.1%,平均0.64%,渗透率为 $0.009 \times 10^{-3} \sim 18.200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $1.526 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表2)。但从建深1井志留系岩心看,发育多种类型的裂缝(表3),使储层物性得到了一定的改善。

表1 扬子区志留系地表露头样品物性统计

Table 1 Physical parameters of outcrop samples from the Silurian, the Middle-Upper Yangtze Platform

层位	剖面(井号)	岩性	不发育裂隙		有裂隙发育	
			孔隙度, %	渗透率/ $(10^{-3} \mu\text{m}^2)$	孔隙度, %	渗透率/ $(10^{-3} \mu\text{m}^2)$
韩家店	三泉	泥质粉砂岩	$\frac{4.40 \sim 4.90}{4.65(2)}$	$\frac{0.027 \sim 0.187}{0.127(2)}$		
	江口	粉砂岩			$\frac{3.1 \sim 3.7}{3.4(2)}$	$\frac{0.157 \sim 0.351}{0.254(2)}$
	华釜山	泥质粉砂岩	2.30	0.018		
	凯里水珠	含油细砂岩	4.40	0.116		
	凯里洛棉	含油细砂岩	$\frac{5.98 \sim 14.94}{10.46(2)}$	$\frac{0.096 \sim 0.116}{0.106(2)}$		
小河坝	石门磺厂	泥质粉砂岩	3.07	0.014		
	重庆溶溪	黄灰色砂岩	5.60	0.032		
	三泉	粉-细砂岩	$\frac{1.70 \sim 5.90}{2.93(13)}$	$\frac{0.019 \sim 0.036}{0.023}$	2.9	0.326
	三汇	粉-细砂岩	$\frac{2.40 \sim 5.90}{4.04(7)}$	$\frac{0.015 \sim 0.025}{0.020(7)}$	$\frac{9.0 \sim 9.4}{9.2(2)}$	$\frac{1.540 \sim 5.190}{3.370(2)}$
	江口	粉-细砂岩	$\frac{2.90 \sim 4.70}{3.90(5)}$	$\frac{0.015 \sim 0.130}{0.051(5)}$		
	打风坳	粉-细砂岩	$\frac{2.50 \sim 6.60}{3.65(10)}$	$\frac{0.021 \sim 0.073}{0.039(10)}$	2.2	7.910

注:表中数据为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值(样品数)}}$ 。

表2 取心井段岩石物性分析统计

Table 2 Physical parameters of cores

层位	井号	岩性	孔隙度, %	渗透率/ $(10^{-3} \mu\text{m}^2)$
韩家店组	建深1井	极细砂岩	$\frac{0.48 \sim 2.90}{1.55(3)}$	$\frac{0.010 \sim 0.018}{0.013(3)}$
		粉砂岩	$\frac{0.40 \sim 1.10}{0.64(12)}$	$\frac{0.009 \sim 18.200}{1.526(12)}$
	五科1	粉砂质泥岩	$\frac{0.40 \sim 1.30}{0.63(11)}$	$\frac{0.004 \sim 0.007}{0.005(11)}$
	太13	粉砂岩	$\frac{0.79 \sim 1.90}{0.96(3)}$	<0.100
小河坝组	五科1	粉砂质泥岩	$\frac{1.30 \sim 5.33}{3.50(3)}$	$\frac{0.001 \sim 1.960}{0.009(3)}$

注:表中数据为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值(样品数)}}$ 。

表3 建深1井志留系取心段裂缝统计

Table 3 Statistics of fractures in the cored interval in the Silurian, Well Jianshen-1

层位	取心次数	岩心长/m	平缝				斜缝				直缝			
			条数	宽/mm	长/cm	充填情况	条数	宽/mm	长/cm	充填情况	条数	宽/mm	长/cm	充填情况
S ₂ h	1	0.95	4	0.5		未充填, 部分泥质半充填	5	0.1~0.5	5~27	无充填, 部分泥质半充填	13	0.1~0.5	3~45	无充填, 部分泥质半充填
	2	1.50	1	0.2~0.5			6	0.2~1.0	8~23		2	0.3~2.0	11~23	
S ₁ x	3	6.00	3	0.1	3~5		12	0.1~0.5	6~20		16	3.0~25.0		
合计		8.50	8				23				31			

注:数据来自江汉油田分公司研究院。

1.2.2 碳酸盐岩储层

志留系碳酸盐岩储集层主要发育川南—黔北地区的石牛栏组,岩石类型主要为亮晶颗粒灰岩和含颗粒泥晶灰岩^[20]。

志留系石牛栏组碳酸盐岩储层的储集空间为孔洞、裂缝、晶间孔和晶内孔。通过对贵州吼滩、乌当两条剖面的6块灰岩进行了常规物性分析,其孔隙度为0.57%~2.55%,平均1.46%,渗透率为 $0.009 \times 10^{-3} \sim 0.955 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $0.173 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属特低孔低渗储层。丁山1井石牛栏组1 165.00~1 165.75 m,岩性为深灰色灰岩。灰岩岩心局部溶蚀缝洞发育,基质孔隙度较小,主要为缝洞型储层,实测孔隙度最大值2.39%,最小值1.50%,平均1.89%。

1.3 盖层条件

志留系盖层主要为一套浅海陆棚相—滨浅海相泥岩,盖层厚度巨大,分布稳定。但后期历经加里东、海西、印支和喜马拉雅运动,局部遭受了强烈的剥蚀,目前仍保存完好的志留系主要分布于四川盆地、湘鄂西区各复向斜的核部、江汉平原南部等地区。从纵向上看,下志留统龙马溪阶为优势盖层发育层位,几乎整套地层都是泥质岩,均质性较强,是一套良好的区域性盖层。中志留统韩家店阶在川北、川中、川南和黔东南地区为较有利的盖层发育层位,其泥质岩占地层厚度的比例超过70%,而中扬子区该套地层以砂岩为主。

由于中、上扬子区不同地区志留系盖层沉积埋藏条件存在差异,其成岩作用和成岩史也存在一定差异。通过中、上扬子区4条剖面 and 建深1井的志留系泥质岩粘土矿物、伊利石结晶度和有

机质成熟度的分析(表4)认为,扬子区志留系泥岩主体处于中成岩B期—晚成岩期,其中,中扬子区成岩演化程度最高,以晚成岩—近变质带成岩阶段为主,上扬子区成岩演化程度相对最低,以中成岩B期—晚成岩阶段为主。而建深1井韩家店组获日产 $5.13 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的工业气表明,志留系高演化泥质岩仍具有良好的封盖能力。

中、上扬子区志留系盖具有较低孔隙度、较低渗透率、高突破压力、超微孔为主的物性和孔隙结构特征,其封盖性能优良。如川东南地区丁山1井下志留统石牛栏组泥质岩(井深1 157.46 m)的突破压力达14.72 MPa,比表面积为 $0.3 \text{ m}^2/\text{g}$,中值半径5.035 nm,优势孔隙在1~40 nm范围内,封气柱高度达1 427.97 m,遮盖系数2 855.95%,说明鄂西渝东—川东南地区志留系泥质岩具有良好的封盖能力。

从整个中、上扬子区看,四川盆地川东—川东南地区现今封盖性能最好,以Ⅰ类盖层为主;中扬子的江汉平原南部以Ⅱ类盖层为主。

2 油气成藏过程与运聚特点

2.1 烃源岩的生烃史

受加里东期以来盆地原型的分布及其不同构造—热体制下的地温场特点的差异和印支、燕山、喜马拉雅构造运动改造程度等的不同,中、上扬子不同地区烃源岩生烃史各异。一般而言,烃源岩大量生油和大量生气时期往往对应于油气大规模运移和初次成藏时期,本文选取中、上扬子地区不构造单元内典型剖面或钻井(表5),对志留系烃源岩的生烃史做了分析和对比。

表4 志留系代表剖面(或井)粘土矿物分析数据
Table 4 Clay minerals in the typical Silurian sections (or wells)

剖面	地层	伊利石, %	高岭石, %	绿泥石, %	蒙脱石, %	伊/蒙混层, %	绿/蒙混层, %	混层比, %	镜质体反射率, %	伊利石结晶度 / (°Δ2θ)
王家湾	纱帽组	82.5(8)	2.7(6)	13.0(8)	0	2.7(3)	4.0(3)	10.0(3)	1.82(1)	
	罗惹坪组	89.0(3)	2.0(2)	2.3(3)	0	2.0(3)	5.3(3)	10.0(3)	1.78(5)	
	龙马溪组	90.7(18)	1.5(4)	3.4(18)	0	2.4(18)	3.4(16)	2.4(18)	1.74(6)	0.45(3)
	五峰组	91.0(4)	0	9.0(4)	0	0	0	0	1.76(1)	0.39(1)
磺厂	罗惹坪组	78.7(9)	1.7(3)	16.2(9)	0	3.0(7)	3.3(6)	10.0(7)	1.82(5)	0.46(2)
	龙马溪组	83.9(19)	2.7(10)	11.3(19)	0	2.2(13)	2.8(13)	10.0(13)	1.95(8)	0.45(4)
	五峰组	54.5(4)	41.0(4)	3.75(4)	0	1.0(1)	2.0(2)	10.0(1)	1.95(1)	0.38(2)
洛棉	翁项群	88.2(13)	0	11.5(11)	0	3.2(5)	2.2(5)	10.0(5)	0.84(8)	0.49(3)
吼滩	韩家店组	77.0(11)	2.7(3)	19.5(11)	0	2.2(6)	3.0(6)	14.2(6)	2.07(9)	0.48(5)
	石牛栏组	83.4(5)	3.0(1)	10.0(5)	0	2.8(5)	3.2(5)	10.0(5)	2.16(4)	0.47(2)
	龙马溪组	85.0(2)	0	12.0(2)	0	2.0(2)	1.0(2)	10.0(2)	1.97(17)	0.46(1)
建深1井	小河坝组	61.2(10)	0	38.8(10)	0	0	0	0	0	0.37(10)

注:表中数据为平均值(样品数)。

表5 中、上扬子区上奥陶统五峰组一下志留统
(O_3w-S_1) 烃源岩生烃史对比简表

Table 5 Correlation of hydrocarbon generation history
between O_3w and S_1 source rocks, the Middle and
Upper Yangtze area

地区	剖面	生油高峰	生气高峰
上扬子	诺水河	J ₂ 早期	J ₂ 晚期
	川岳 84	J ₂ 早期	J ₂ 晚期
	马武	T ₁ 中期	T ₂ 末期
	丁山 1	J ₂ 早期	J ₂ 晚期
	秀山溶溪	T ₃ 早期	J ₃ 早期
	习水吼滩	J ₁ 早期	J ₂ 中期
中扬子	磺厂	T ₁ 末期	T ₂ 末期
	龙马	T ₁ 早期	T ₂ 早期
	京山	T ₂ 末期	J ₁ 末期
	当深 3	T ₃ 中期	J ₁ 晚期
	建阳 1	T ₃ 中期	J ₂ 早期
	岳参 2	T ₃ 中期	J ₁ 早期
	夏 4	T ₃ 中期	E ₁ 早期
	丰 1	J ₁ 早期	E ₁ 早期
	牌参 1	J ₁ 中期	E ₁ 早期
	江参 4	T ₂ 早期	J ₂ 早期

由表5可见,上扬子区五峰组—龙马溪组底部烃源岩无论是达到其生油高峰,还是达其生气高峰均在晚印支—燕山期,即上扬子区烃源岩生烃作用主要受控于晚三叠世—侏罗纪的前陆盆地控制。中扬子区烃源岩生烃演化出现了分异,湘鄂西褶皱冲断带生烃(油、气)作用主要发生于印支期,江汉平原覆盖区在靠近冲断带附近,生油作

用主要发生于印支期,但其大量生气时期则发生于燕山期,而江汉平原覆盖区内 O_3w-S_1 烃源岩生油作用主要受控于晚三叠世—侏罗纪的前陆盆地,生气作用一方面与 T₃—J 的前陆盆地相关(前渊区,燕山期达生气高峰),另一方面与 K₂—E 的断陷盆地叠加相关(生气高峰发生于古近纪),这为晚期成藏奠定了一定的物质基础。

2.2 油气的成藏过程

根据川东及川东南地区志留系的烃源史、油气运聚史、构造演化史、圈闭形成史及储层的形成与分布及含气情况等成藏地质特征研究^[21],志留系主要表现为“早期运聚保存、晚期调整成藏”,主要经历了以下4个阶段。

加里东—早海西期为志留系岩性圈闭形成阶段。由于埋深较浅,砂岩中的粒间孔、粒内孔及溶蚀孔较发育,早期生成的油气便会从临近的烃源岩中向砂岩孔隙中运移。

海西—印支期为油藏形成阶段。印支晚期,随着上覆地层不断沉积,下志留统龙马溪组烃源岩埋深增大,先后进入生油高峰期,油气大量生成,以生成液态烃为主,此时,志留系内部的小河组、韩家店组碎屑岩储层、石牛栏组碳酸盐岩就近捕获液态烃,形成岩性圈闭油藏。

晚印支—早燕山期为气藏形成阶段。印支晚期—早燕山期,中、上扬子区地层全面褶皱,形成

2.3.2 白垩纪沉积前志留系顶面的古构造格局及其对志留系油气成藏的影响

发生在晚侏罗世的早燕山运动使扬子板块周边的褶皱-冲断带进一步向盆地挤压、扩展,同时使盆地内部整体抬升剥蚀,它亦是川东高陡背斜形成的初始时间。强烈的隆升、剥蚀与构造变形,扬子板块内的构造格局基本定型。

受 NE 向的龙门山与雪峰山进一步隆升、逆冲断层进一步向盆地扩展的影响,上扬子区形成了呈 NE 向展布的龙门山山前凹陷(志留系顶面埋深大约 9 500 m)、万县凹陷(志留系顶面埋深大约 7 500 m)与鄂西凹陷(志留系顶面埋深大约 6 500 m);受米仓山-大巴山进一步的向盆地逆冲、扩展的影响形成了通江凹陷(志留系顶面埋深大约 7 500 m)与巴东凹陷(志留系顶面埋深大约 7 000 m),呈 NWW 向展布;而龙门山、米仓山-大巴山与雪峰山的山前构造带、雅安-自贡陆内隆起区是该期液态烃(或气)运移的聚集区,綦江-赤水一带为向西南逐渐抬高的斜坡区,是油气聚集的有利部位。

受黄陵背斜进一步隆升的影响,中扬子区分隔为呈 NNW 向展布的当阳凹陷(志留系顶面埋深大约 7 000 m)与近 EW 向展布的仙桃-大冶凹陷(志留系顶面埋深大约 4 000 m),凹陷周缘的斜坡区是生烃凹陷的油气运移的指向区(图 2)。

2.3.2 现今志留系顶面的构造格局及其对志留系油气成藏的控制作用

现今中、上扬子区志留系地层在不同地区的残留状况、分布特点和埋深各不相同,差异较大。

四川盆地内,除川西隆起区缺失外,其他地区均连片分布,志留系顶面的构造格局与盆内其他层位的构造格局基本一致,华蓥山以东的川东高陡构造区,表现为北东向的复背斜与复向斜相间排列,复背斜高陡,复向斜相低缓,呈“隔档式”结构,复背斜上志留系顶面埋深一般在 4 000 ~ 5 000 m 左右,复向斜内志留系顶面埋深一般在 5 000 ~ 6 500 m 左右。在川东南低陡构造区,志留系顶面表现为北东向-北北东的复背斜与复向斜相间排列,复背斜上志留系顶面埋深一般在 3 000 ~ 4 500 m 左右,复向斜内志留系顶面埋深一般在 4 500 ~ 6 000 m 左右。在川东北中陡构造区,志留系顶面表现为北东-北东东向的复背斜与复向斜相间排列,复背斜上志留系顶面埋深一般在 6 000 ~ 7 000 m 左右,如河坝场构造上的河坝 1 井志留系顶界深为 6 041.5 m,复向斜内志留系顶面埋深一般在 7 500 ~ 8 500 m 左右。总体上看,鄂西渝东区和川东南地区的复斜背斜带是现今志留系及下组合天然气聚集的有利部位,也是目前志留系及下组合天然气勘探潜力最大和最容易取得突破的地区。

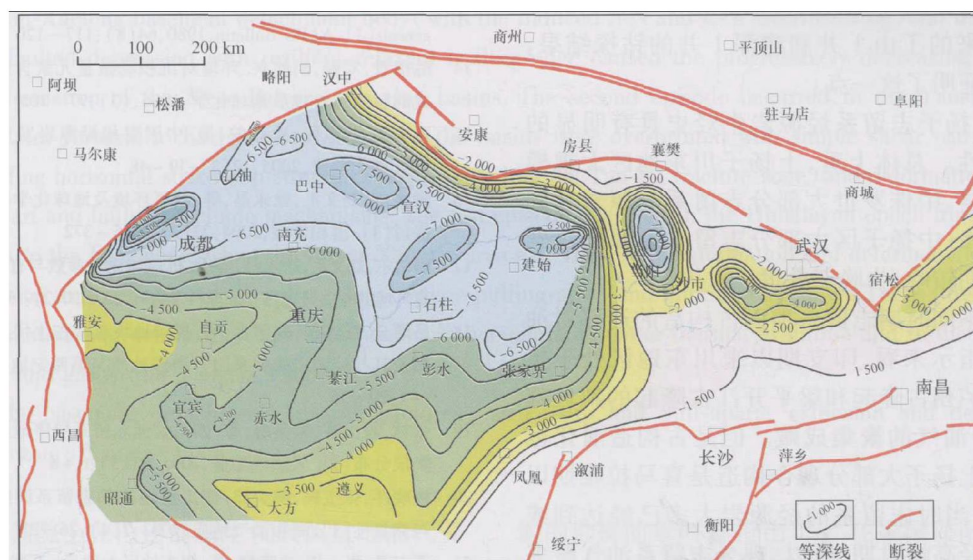


图 2 中、上扬子区白垩纪沉积前志留系顶面埋深

Fig. 2 Top Silurian depth map before the deposition of the Cretaceous in the Middle and Upper Yangtze area

湘鄂西地区志留系仅在复向斜内保存较完好,局部出露,其底界埋深多在800~1 500 m范围内,利川复向斜、花果坪复向斜北部和桑植-石门复向斜的中部的志留系分布连性较好,大多数断层未断穿志留系,花果坪复向斜中北部等地区志留系局部构造发育,具备形成构造气藏或构造-岩性复合藏的条件,是其志留系勘探潜力较大的地区。而区内的复背斜带上志留系地层被剥蚀或暴露严重,保存条件较差,不利于志留系及下组合天然气成藏。

中扬子区的江汉盆地内部志留系除在潜江-乐乡关低凸起等少数地区缺失外,其他大部分地区志留系分布连续,其顶面埋深多在3 000~7 000 m范围内,其中江陵-仙桃冲断褶皱区的南部埋深相对较浅,志留系顶面埋深为3 000~4 500 m左右,如牌参1井志留系顶面埋深为3 684.5 m,夏4井黄龙组底面埋深为3 422 m,而其北部的江汉盆地潜江凹陷中北部、江陵凹陷部分地区及当阳-京山叠瓦推覆区的汉阳-建阳驿一带则埋深较大,总体上看,江汉平原南部的江陵-仙桃冲断褶皱区南部斜坡区志留系埋深较浅,是志留系天然气聚集的有利部位。

3 结论

志留系泥页岩具有很强的生烃能力,同时又是良好的盖层,内部普遍存在多套生、储、盖组合。生储层交互,十分有利于油气聚集成藏,志留系沥青砂岩和钻井油气显示的普遍存在便是有利的证据。近年来的丁山1井和建深1井的钻探结果,也进一步证明了这一点。

中、上扬子志留系烃源岩生烃史具有明显的地区差异性。总体上看,上扬子川东地区大规模生烃期较早,中侏罗世大部分志留系烃源岩达到了生油高峰;中扬子区大部分志留系烃源岩达到生油高峰期较晚,为晚三叠世。

根据不同时期志留系顶面古构造的迁移对油气运聚的指示来看,印支期以来川东地区处于生烃拗陷与泸州古隆起和梁平开江古隆起的斜坡部位,有利于油气的聚集成藏。但是古构造演化也指示,中、上扬子大部分现今构造是喜马拉雅期以来形成的,当时志留系的烃源岩大多已经达到或超过了生烃高峰时期,所以,现今志留系油气藏多数是喜山期经过后期调整的次生气藏。

从志留系勘探目的层的构造迁移和现今埋深

来看,川东的鄂西渝东区和川东南地区的复背斜带是现今志留系天然气聚集的有利部位,也是目前志留系天然气勘探潜力最大和最容易取得突破的地区。

参考文献

- 1 蔡勋育,韦宝东,赵培荣.南方海相烃源岩特征分析[J].天然气工业,2005,25(3):20~22
- 2 肖开华,沃玉进,周雁,等.中国南方海相系油气成藏特点与勘探方向[J].石油与天然气地质,2006,27(3):316~324
- 3 沃玉进,肖开华,周雁,等.中国南方海相系油气成藏组合类型与勘探前景[J].石油与天然气地质,2006,27(1):11~16
- 4 郭英海,李壮福,李大华,等.四川地区早志留世岩相古地理[J].古地理学报,2004,6(1):20~29
- 5 刘特民.贵州赤水及邻区奥陶-志留纪地层沉积相含油性研究报告[R].贵州石油勘探开发指挥部,1987
- 6 杨长庚,朱佩群,陈跃,等.沉积扬子区奥陶-志留系沉积、成岩相与油气关系研究[R].地矿部石油地质中心实验室,1990
- 7 周名魁,王汝植,李志明.中上扬子区奥陶-志留纪岩相古地理与成矿作用[M].北京:地质出版社,1993
- 8 李志明,龚淑云,陈建强,等.中上扬子区奥陶-志留纪沉积层序与构造运动的关系[J].地球科学,1997,22(5):526~530
- 9 文玲,胡书毅,田海芹.扬子地区志留纪岩相古地理与石油地质条件研究[J].石油勘探与开发,2002,29(6):11~14
- 10 肖传桃,姜衍文,朱忠德,等.湖北宜昌地区奥陶纪层序地层及扬子地区五峰组沉积环境的讨论[J].高校地质学报,1996,2(3):339~346
- 11 何卫红,汪啸风,卜建军,等.晚奥陶世五峰期扬子海盆海平面变化旋回与古水体深度[J].沉积学报,2002,20(3):367~375
- 12 吴明清,欧阳自远.锦屏山一个寻迹古海洋氧化还原条件变化的化学示踪剂[J].科学通报,1992,37(3):242~244
- 13 Demaison G J, Moor G T. Anoxic environments and oil source bed genesis[J]. AAPG Bulletin, 1980, 64(8):117~120
- 14 陈衍景,邓健,胡桂兴.环境对沉积物微量元素含量和分配型式的制约[J].地质地球化学,1996,(3):97~105
- 15 张水昌,张宝民,边立曾,等.中国海相烃源岩发育控制因素[J].地学前缘,2005,12(3):39~48
- 16 腾格尔,刘文汇,徐永昌,等.缺氧环境及地球化学判识标志的探讨[J].沉积学报,2004,22(2):365~372
- 17 腾格尔,刘文汇,徐永昌,等.无机地球化学参数与有效烃源岩发育环境的相关研究[J].地球科学进展,2005,20(2):193~200
- 18 吕炳全,王红翌,胡望水,等.扬子地块东南古生代上升流沉积相及其与烃源岩的关系[J].海洋地质与第四纪地质,2004,24(4):29~35
- 19 张林,魏国齐,郭英海,等.四川盆地志留系层序地层及有利储集层分布[J].天然气工业,2005,25(5):6~8
- 20 杨晓萍,张宝民,柳少波.四川盆地南部志留系碳酸盐灰泥丘与储集性[J].海相油气地质,2002,7(4):26~32
- 21 蒋有录,张一伟,冉隆辉,等.川东地区志留系-石炭系含油气系统天然气运移聚集机理[J].石油学报,2001,22(1):25~30

(编辑 董立)