

江汉盆地海相探区中寒武统盐下层 勘探潜力浅析

刘莉

(中国石化江汉油田分公司勘探开发研究院海相研究所)

摘要 江汉海相探区内中寒武统覃家庙组膏盐岩盐下层系中发育有两套良好的生储盖组合。对盐下层系生、储、盖特点和分布规律的分析表明,上震旦统陡山沱组及下寒武统水井沱组发育页岩烃源岩,上震旦统灯影组碳酸盐岩和下寒武统石龙洞组碳酸盐岩有良好的储集条件,而覃家庙组的膏盐岩和下寒武统石牌组—天河组泥质岩又为盐下的油气聚集提供了区域性盖层条件。指出了有利的勘探区带为石柱复向斜、利川复向斜以西地区和宜昌稳定带。

关键词 江汉盆地; 中寒武统; 盐下层; 烃源岩; 碳酸盐岩储集层; 有利勘探区; 勘探潜力

中图分类号: TE112.23; TE112.36 文献标识码: A

盐构造是指由膏盐岩等塑性地层流动变形而形成的地质体,它与油气聚集密切相关。据统计,全球商业性油气田中 58% 的油气田与盐系地层有关^[1]。这些含盐油气盆地已探明石油储量占世界石油储量的 89%,已探明天然气储量占世界的 80%,这表明盐与油气聚集关系极为密切^[2-3]。

近期的鄂西渝东勘探中,建深 1 井在寒武系覃家庙组钻遇含膏盐岩层段,其厚度达 684 m,而 PS1 井在覃家庙组钻遇含膏层段厚度为 314 m。本文通过对膏盐岩盐下层系的生储盖条件进行初步分析,以期找出有利的勘探区带。

1 中寒武统膏盐层沉积概况

随着全球海平面的上升,早寒武世扬子区在晚震旦世灯影期古地理背景的基础上开始形成碳酸盐缓坡,扬子地台属于特提斯区的东部,构造演化经历了加里东—早印支期(Z₂—T₂)海相被动大陆边缘和克拉通盆地、晚印支—早燕山期(T₃—J₂)同造山期前陆盆地、中燕山期(J₃—K₂)强烈挤压、晚燕山—早喜马拉雅期(K₃—E)伸展和晚喜马拉雅期(N—Q)差异升降 5 大阶段^[4]。在晚震旦世至寒武纪地层沉积过程中存在两次规模较大的海进—海退沉积旋回,即晚

震旦世陡山沱期海进,灯影期海退;早寒武世海进,中、晚寒武世海退。在此过程中台地水体变浅,以潮坪相和局限台地相泥页岩、白云岩沉积为主,出现了膏盐岩沉积环境,形成了巨厚的中—古生界沉积。沉积的岩性稳定,发育了多套有机质丰富的烃源岩,形成了多套生储盖组合^[5]。

膏盐岩是一套特殊的沉积体,主要发育于沉降速率小于沉积速率的盆地^[6],部分发育于沉降速率等于沉积速率的环境^[6]。显然,膏盐岩形成环境主要与盆地发展的中、后期密切相关^[7]。本区在中寒武统覃家庙组发育一套膏盐岩,而盐下还发育下寒武统泥质岩及泥灰岩盖层^[8]。

2 膏盐岩盐下层成油气地质条件

江汉盆地海相探区内,中寒武统膏盐岩层下主要发育有:上震旦统陡山沱组及下寒武统水井沱组两套烃源岩层,上震旦统灯影组及下寒武统石龙洞组两套储集层,以及中寒武统覃家庙组膏盐岩和下寒武统石牌组—天河板组泥质岩两套盖层。

2.1 烃源条件

对探区烃源岩发育环境的统计表明,陆棚—陆

收稿日期: 2010-04-27; 改回日期: 2010-10-21

刘莉,女,1981年生,硕士,工程师。2007年毕业于长江大学矿产普查与勘探专业。现从事海相碳酸盐岩沉积储层与页岩气方面研究工作。通讯地址: 433124 湖北省潜江市广华;电话: (0728)6502636

坡为烃源岩发育的主要环境。本区盐下层系发育上震旦统陡山沱组、下寒武统水井沱组两套区域性主力烃源层系(图1),其中下寒武统烃源岩最好(表1)。根据烃源岩厚度、有机质丰度、有机质类型及有机质成熟度综合研究,对主要烃源层平面展布特征评价如下^[9-10]。

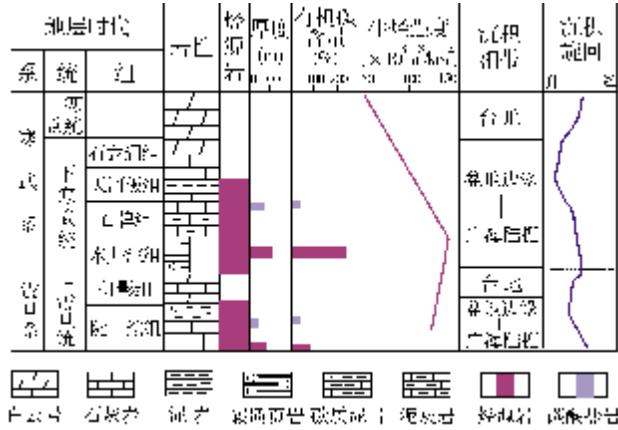


图1 江汉盆地海相探区盐下层烃源岩分布

表1 江汉探区盐下层系主要烃源岩基础数据表

层位	岩类	厚度 (m)	有机碳 (%)	氯仿沥青“A” (%)	R _o (%)	有机质类型
E ₁	碳酸盐岩	150.2	0.38/67	0.005/128	3.05/76	I型
	泥质岩	151.1	2.85/77	0.0076/65		
Z ₂	碳酸盐岩	104.87	0.53/75	0.0042/50	3.52/37	I型
	泥质岩	63.36	1.23/80	0.0042/40		

注:斜线后为样品数。

上震旦统 碳酸盐岩烃源岩有机碳含量为0.12%~1.67%,平均值0.53%;泥质烃源岩为0.32%~4.37%,平均值为1.23%。湘鄂西鹤峰地区烃源岩厚度大,有机质丰度高(鹤峰白果坪泥质岩有机碳值为1.20%(10个样品)、碳酸盐岩有机碳0.67%(7个样品),生烃强度高达125.0×10⁸ m³/km²,向四周逐渐降低,是有效烃源岩发育最有利区(图2)。

下寒武统 是下组合最好烃源岩层。碳酸盐岩烃源岩主要发育于下寒武统中上部,厚4.5~330.2m。泥质烃源岩主要发育于下寒武统的中下部,厚10.9~633.92m。生烃强度一般为(10~250)×10⁸ m³/km²,存在两个主要生烃中心区,一个是湘鄂西区的恩施—鹤峰一带,另一个是江汉平原区南部。总的来看,下寒武统两个供烃区控制面积大,具备形成大、中型

油气藏能力。湘鄂西区为有效烃源岩发育最有利区(图3)。

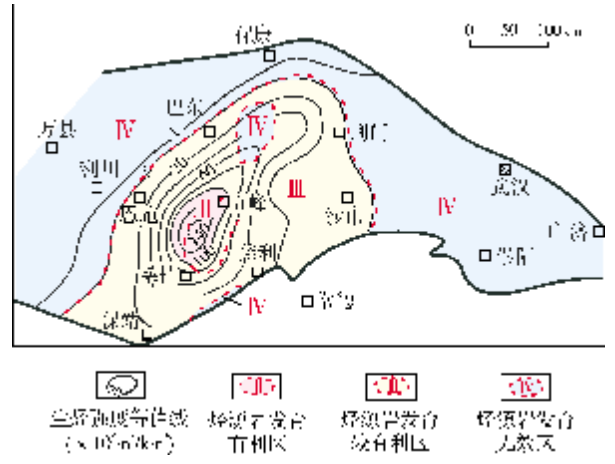


图2 中扬子地区上震旦统有效烃源岩综合评价

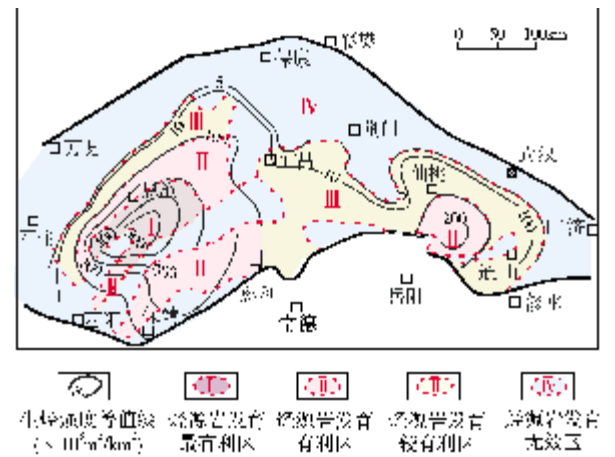


图3 中扬子地区下寒武统有效烃源岩综合评价

综合评价认为,本区下寒武统为下组合主要烃源岩层系,烃源岩厚度大,有机质丰度高,生烃能力强,具有形成大、中型油气藏能力。

2.2 储层条件

2.2.1 储层物性特征

本区内盐下层系主要储层为上震旦统灯影组及下寒武统石龙洞组。

灯影组 对工区583块样品的统计分析(图4)表明,灯影组平均孔隙度为1.80%,渗透率平均值为0.45×10⁻³ μm²,属中孔低渗储层。

石龙洞组 收集工区140块样品,其统计分析(图5)显示,孔隙度平均值3.48%,渗透率平均值为0.66×10⁻³ μm²,属中孔中渗储层。

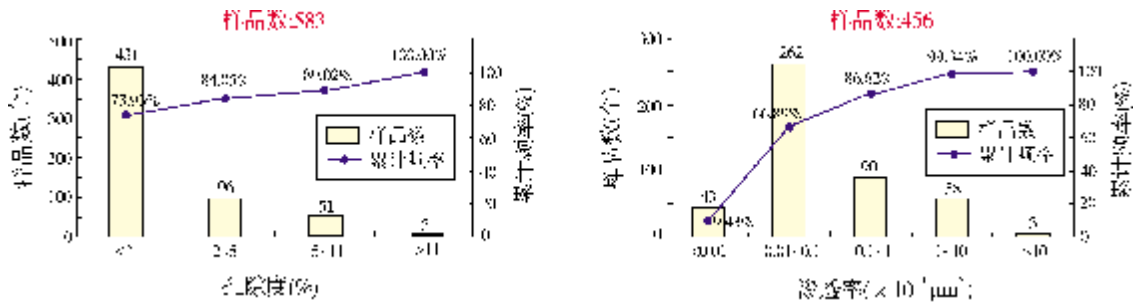


图4 江汉盆地灯影组孔隙度及渗透率分布频率直方图

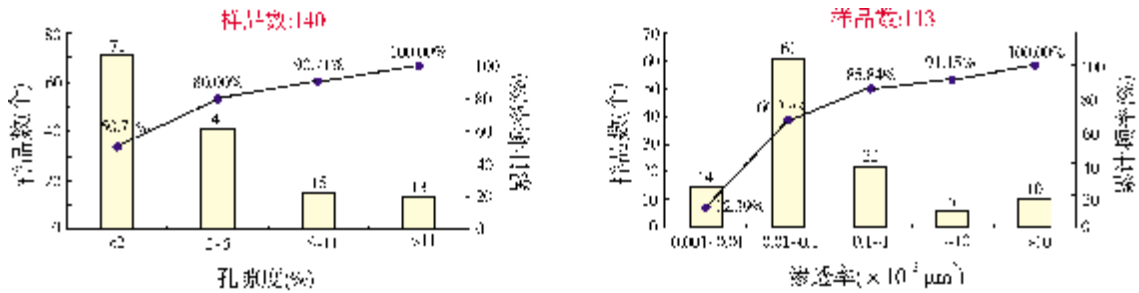


图5 江汉盆地石龙洞组孔隙度及渗透率分布频率直方图

2.2.2 储层孔隙结构特征

孔隙结构是评价储层质量的重要指标,区内研究储层孔隙结构主要采用了铸体薄片、压汞测定毛细管压的方法^[11]。本次研究采用孔金祥提出的碳酸盐岩孔隙结构的分类评价原则,将本区碳酸盐岩孔隙结构分成I、II、III、IV类(表2)^[12]。

表2 碳酸盐岩孔隙结构及评价标准(据文献[12])

项目	类别			
	I类	II类	III类	IV类
中值喉道半径(μm)	>1.0	1.0~0.2	0.2~0.024	<0.024
孔隙半径(μm)	1000~100	1000~100 或100~10	1000~100 或100~10	<10
孔隙组合类型(孔隙结构类型)	粗孔大喉	粗孔中喉 细孔中喉	粗孔小喉 细孔小喉	微孔微喉
评价	好	较好	中等	差

通过以利1井为例进行的分析,综合得出:灯影组取心井段孔隙结构为中等偏差(III类),属中等储集岩,有产气能力;石龙洞组取心井段的孔隙结构较好(II类)。

通过对于膏盐岩下两套主力储层的孔隙结构分

析认为:石龙洞组孔隙结构最好,灯影组孔隙结构差异性较大,为中等偏差,属于中等储集岩。

2.2.3 有利储层展布

区内钻至盐下层系的探井少且分布不均,地震资料少,品质较差,岩心、测井、测试等方面的资料亦少,总体上勘探程度不高。此次储层统计工作采用了新的方法:有物性分析资料的剖面(或井),碳酸盐岩储层划分参考石油行业标准《单井碳酸盐岩储层评价标准》(SY/T6038—94),即按孔隙度2%为储层下限标准进行统计;对于没有或较少物性资料的井下剖面,充分利用了钻井、录井、测井和测试资料进行储层的划分与识别来累计储层厚度;对于没有或较少物性资料的野外剖面,充分地参考野外剖面描述中的孔洞层、裂缝层等存在有效储集空间的地层厚度进行储层厚度的统计;对于钻井的非取心井段则根据钻井、录井、测井解释及测试结果采用一个定量或半定量的评价标准,缺乏物性资料的井或井段参考其钻井显示情况的好坏。

根据上述储层划分标准,对江汉探区各区块盐下层不同储集层段(主要是上震旦统灯影组、下寒武统石龙洞组)进行了储层厚度的统计。

上震旦统灯影组 区内灯影组储层分布相对稳定且广泛。统计了 17 个地面剖面及 8 口井资料,以利川一带和兴山—宜昌地区储层厚度为大,达 200~300 m,物性较好,储层沉积相为局限海台地相或台地边缘滩相,埋藏溶蚀作用较强,综合评价为 II 类储层区。鄂西渝东区储层厚度自东向西逐渐增厚,秭归—五峰—桑植以东大部地区储层厚度较大,物性较好,为局限台地相或台地边缘相沉积,为 III 类储层区(图 6)。

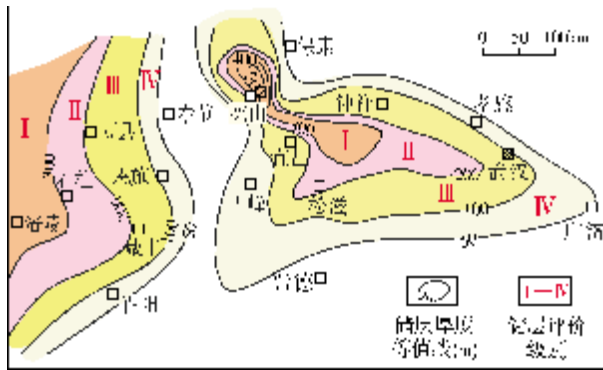


图 6 中扬子地区上震旦统灯影组储层综合评价

下寒武统石龙洞组 采用了 21 个地面剖面及 5 口井的资料,下寒武统石龙洞组储层发育受沉积相、成岩作用控制。利川利 1 井周边地区储层厚度大,物性好,钻井测试储层产能大,为 II 类储层区;石柱双流坝、咸丰周家院子及鹤峰白果坪一带,储层厚度较大,物性较好,秭归复向斜北部、当阳复向斜北部—台 2 井周边地区储层厚度较大,物性较好,亦为 II 类储层区。湘鄂西的果 1 井—咸 1 井—李 2 井一带储层厚度较大,物性差,为 III 类储层区(图 7)。

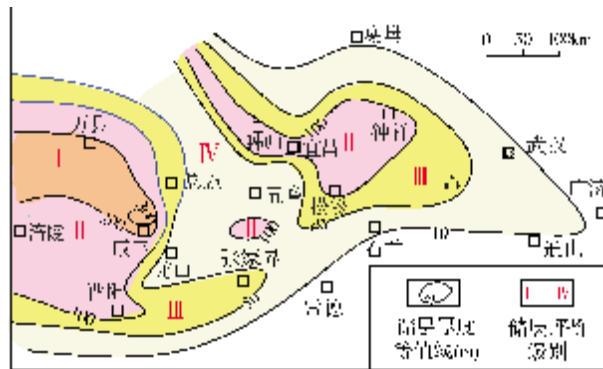


图 7 中扬子地区下寒武统石龙洞组储层综合评价

2.3 盖层条件

本区主要发育两套盖层:中寒武统覃家庙组的膏盐岩盖层与下寒武统石牌组—天河板组泥质岩盖层。

区内下寒武统石牌组—天河板组盖层主要为广海陆棚—盆地边缘相,由泥质岩及泥灰岩组成,直接覆盖在灯影组目的层上。该套盖层除在宜都—鹤峰复背斜及桑植石门复向斜南部局部出露地表外,其余地区大面积深埋地腹,最厚在恩施—咸丰一带,厚达 958 m,向四周减薄。

区内中寒武统覃家庙组盖层主要为局限台地相,由膏盐岩组成,直接覆盖于石龙洞组目的层上。

与此同时,对 23 口井下录井剖面和 17 条野外剖面开展了中寒武统膏岩的重新复查和综合分析,并进行平面成图,认为在中寒武世中扬子区膏岩沉积可能是连片分布的(图 8),图中黄色部分代表膏岩发育区。湘鄂西地区由于抬升,膏岩遭剥蚀而残存或呈现角砾状和石盐假晶,而现今膏岩主要分布在鄂西渝东区和江汉平原的局部地区,由此推断这些地区的盐下层应具备较好的保存条件^[13]。

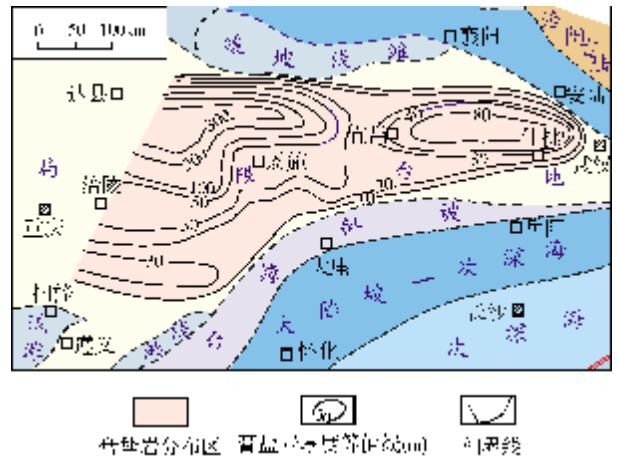


图 8 中扬子及邻区中寒武统膏岩原始分布推断图

2.4 生储盖组合

本区早古生代经历了两次较大的海水进退沉积旋回,纵向上发育了多套烃源层、储集层以及盖层。根据各地层属性及其组合以及油气成烃、成藏特征,纵向上可将本区盐下层系划分为两套主要的生储盖组合^[14](图 9)。

第一套生储盖组合 以上震旦统陡山沱组碳质

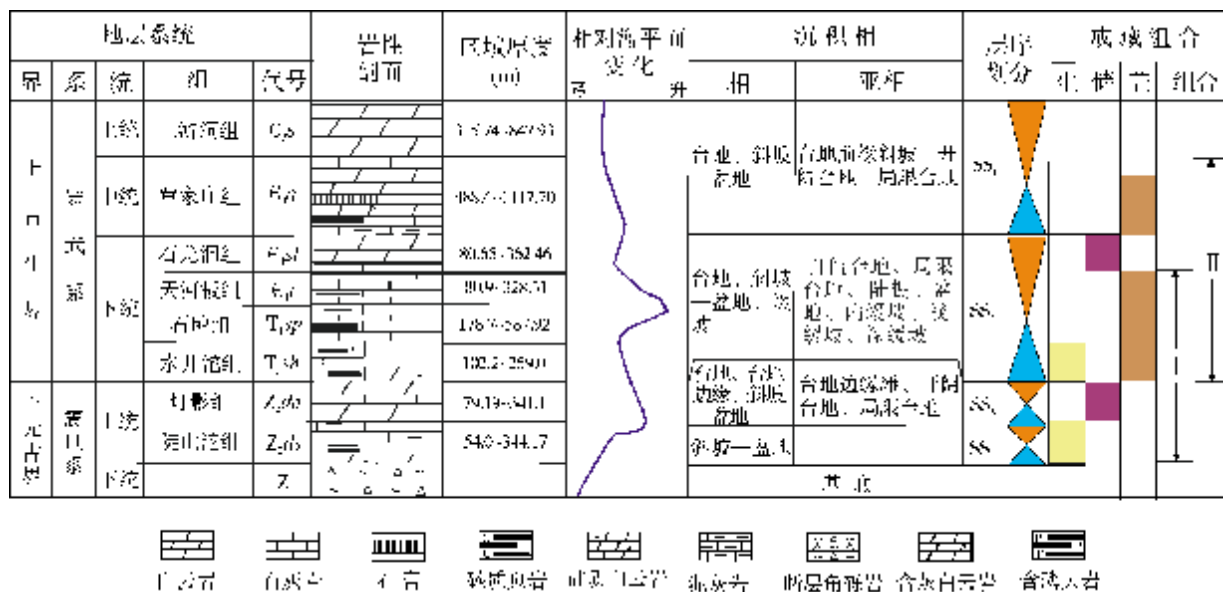


图9 江汉海相探区盐下层系地层和沉积特征

泥岩、泥灰岩及下寒武统牛蹄塘组(水井沱组)泥岩、碳质泥岩为烃源层, 以上震旦统灯影组颗粒白云岩、溶蚀孔洞白云岩为储集层, 以下寒武统泥质岩和泥灰岩作为直接盖层的生储盖组合。该套成藏组合的主探目的层为灯影组风化壳岩溶白云岩储层, 它们在江汉平原区及鄂西渝东地区埋深较大, 通常在 6000m 以上, 甚至可达 7000m。作为区域盖层的志留系保存完整, 因此具有较好的保存条件。在湘鄂西地区由于地层抬升剥蚀强烈, 下古生界遭到破坏, 该套成藏组合仅在局部地区, 如桑植—石门复向斜内部才有较好的保存条件。

第二套生储盖组合 以下寒武统牛蹄塘组(水井沱组)泥岩、碳质泥岩为烃源层, 以下寒武统石龙洞组风化壳型白云岩和石灰岩作为储集岩, 以中寒武统覃家庙组膏盐岩为区域盖层的生储盖组合。该组合以石龙洞组风化壳岩溶白云岩储层为勘探主要目标, 这是积极探索膏盐岩盐下层的最有利组合, 目前该组合已被鄂西渝东地区建南构造上钻探的建深 1 井所证实。

通过前述对于中寒武统膏盐岩盐下层各烃源层、储层及盖层的分析来看, 第二套生储盖组合更优, 第一套次之^[15]。

3 盐下层有利区带初步评价

膏盐岩层下烃源岩层系的厚度大, 有机质丰度

高, 生烃能力强, 具很好的烃源条件。根据有利储层发育带和盖层发育带对江汉海相探区有利区带进行的预测^[15], 并结合生、储、盖三方面的条件, 对第一套生储盖组合而言, 石柱复向斜的油气成藏条件最为优越, 属于 I 类有利区; 宜昌稳定带及利川复向斜西部属较为优越(图 10); 对第二套生储盖组合而言, 石柱复向斜的油气成藏条件最优越, 属于 I 类有利区; 宜昌稳定带及利川复向斜中部属较优越(图 11)。

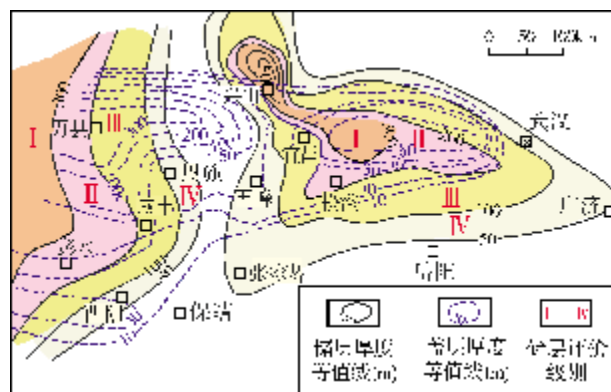


图10 中扬子地区第一套生储盖组合有利区带预测

3.1 石柱复向斜

石柱复向斜处于齐岳山和方斗山夹持地区, 出露最新地层为上侏罗统遂宁组。该复向斜由两个向

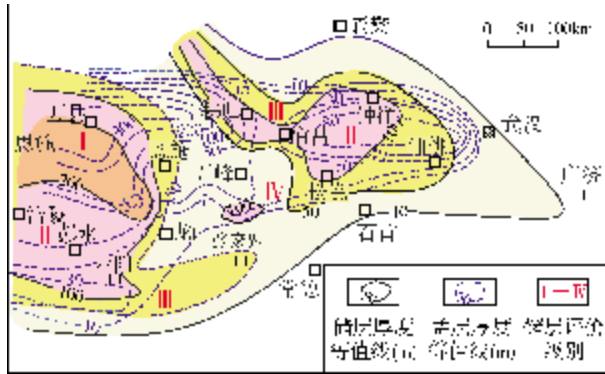


图 11 中扬子地区第二套生储盖组合有利区带预测

斜和一个背斜组成,其走向变化与方斗山构造带相似,走向变化过渡带在建南构造和龙驹坝构造带之间。总体呈“S”形展布,局部构造呈逆时针旋转斜列,南北差异明显。

一方面,构造的形成时间北早南晚,早燕山期,龙驹坝、建南构造处于石柱、奉节两基底硬块中间,在北西向挤压应力的作用下已发生褶皱变形。其中,龙驹坝构造由于受到奉节基底硬块的滞缓作用以及来自秦岭褶皱系南向应力的影响,形成北东东向高陡构造,而建南构造较靠近石柱基底硬块,形成低缓背斜。石柱复向斜南部,由于受石柱基底硬块的保护,早燕山期未发生褶皱变形。

另一方面,构造变形强度北强南弱,龙驹坝构造为类似方斗山和齐岳山的高陡构造,建南构造为低缓的较完整的背斜构造,南部茶园坪构造则为西翼缓长的断展褶皱样式,构造变形由北向南逐渐减弱。在喜马拉雅期,复向斜内部构造受到不同程度的改造和重建,龙驹坝构造改造重建强烈,建南构造改造相对微弱,石柱复向斜南部产生了茶园坪断展褶皱。

石柱复向斜内构造少,但圈闭规模大,如建南深层构造,下寒武统石龙洞组圈闭面积 120.9 km²,震旦系灯影组圈闭面积 83.7 km²,是目前中国南方碳酸盐岩探区构造中最为可靠的落实圈闭之一。而盐下层紧邻鄂西坳陷烃源中心,古构造条件属古斜坡,为油气的运移指向区,有利于早期的油气聚集。储层研究表明本区与利 1 井属同一沉积相带,经历相似的后期成岩改造,具有有利的储集空间,这已被利 1 井钻探证实。

3.2 宜昌稳定带

勘探面积约 2 600 km²,累计施工二维地震测线 35 条,1 297.89 km,二维地震基本上覆盖全区,平均测网密度达 2 km×2 km,局部 1 km×2 km。1992 年 9 月中南石油地质局在董市构造钻探鄂深 3 井,目的是查明董市构造上组合的含油气性。钻探证实宜昌地区上三叠统—侏罗系区域盖层缺失,上组合的油气成藏条件已遭到破坏,但该区下组合保存完整,盐下层构造变形弱,是目前较有利的勘探区块。

据构造条件分析,宜昌稳定带处于南北两大弧形构造带和黄陵隆起三方围限的构造三角带部位。早燕山期构造变形较弱,未发生大规模的褶皱和冲断,晚燕山—早喜马拉雅期以整体断陷沉降作用为主,拉张改造作用较弱,对下组合油气的保存极为有利。地震资料显示,该区下古生界地层产状平缓,总体为一向东南方向倾斜的单斜构造。地震勘探已发现董市、董市北、姚华场、半月山、石子岭、石岭及仙女庙等 7 个局部构造,圈闭类型以背斜、断背斜和断鼻为主;落实程度为可靠—较可靠,下组合主要勘探目的层为灯影组,埋深 5 500~7 000 m。

4 结 论

(1)膏盐层具有很好的封盖能力,是非常优质的盖层,本区钻遇膏盐层,预示着下古生界具有良好的勘探潜力。

(2)江汉盆地海相探区内,通过综合考虑烃源、盖层、储层等各因素,认为膏盐岩盐下层以石柱复向斜的油气成藏条件最为优越,属于 I 类有利区;宜昌稳定带及利川复向斜的中、西部则属于较优越之列。

参 考 文 献

- [1] 余一欣,汤良杰,杨文静,等. 库车坳陷盐相关构造与有利油气勘探领域[J]. 大地构造与成矿学,2007,31(4):404-411.
- [2] Bloch S, Lander R H, Bonnell L. Anomalously high porosity and permeability in deeply buried sandstone reservoirs:Origin and predictability[J]. AAPG Bulletin,2002,86:301-328.
- [3] Spencer C W. Geologic aspects of tight gas reservoir in the Rocky Mountain Regions [J]. JPT,1985,37(8):1308-1314.

- [4] 金之钧,龙胜祥,周雁,等. 中国南方膏岩分布特征[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(5):571-583.
- [5] 吴崇筠,薛淑浩,钱凯,等. 中国含油气盆地沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,1993.
- [6] Spencer C W. Review of characteristics of low permeability gas reservoirs in Western United States[J]. AAPG Bulletin,1989,73(5):613-629.
- [7] 金之钧,王骏,张生根,等. 滨里海盆地盐下油气成藏主控因素及勘探方向[J]. 石油实验地质,2007, 29(2):111-115.
- [8] 刘洛夫,朱毅秀,胡爱梅,等. 滨里海盆地盐下层系的油气地质特征[J]. 西南石油学院学报;自然科学版,2002, 24(3):11-15.
- [9] 钱杜华. 哈萨克斯坦滨里海盆地油气地质特征及勘探方向[J]. 中国石油勘探,2005, 10(4):60-66.
- [10] 林小云,刘建,陈志良,等. 中下扬子区海相烃源岩分布与生烃潜力评价[J]. 石油天然气学报,2007,29(3):15-19.
- [11] 赵振宇,周瑶琪,马晓鸣,等. 含油气盆地中膏盐岩层对油气成藏的重要影响[J]. 石油与天然气地质,2007,28(2):299-308.
- [12] 孔金祥. 明月峡构造带石炭系储集层研究[J]. 天然气勘探与开发,2001,24(3):1-11.
- [13] 吕延防. 油气藏封盖研究[J]. 北京:石油工业出版社,1996.
- [14] 胡书毅,马玉新,田海芹. 扬子地区寒武系油气藏地质条件[J]. 石油大学学报:自然科学版,1999,23(4):20-25.
- [15] 陈学辉. 鄂西建南地区天然气勘探成果认识与勘探目标. 江汉石油职工大学学报,2006,19(4):10-12.

编辑:金顺爱

Exploration Potential of Middle Cambrian Subsalt Formations in Marine Origin Formation Area, Jiangnan Basin

Liu Li

Abstract: In the exploration area of marine sedimentary sequences, two sets of good source-reservoir-cap assemblages develop under Middle Cambrian Qinjiamiao subsalt strata. By analysis of the subsalt characteristics and distribution of the source rocks, reservoirs and cap rocks, it is indicated that the Upper Sinian Doushantuo shale and Lower Cambrian Shuijingtuo shale are good source rocks, and the Upper Sinian Dengying carbonate rock and Lower Cambrian Shilongdong carbonate rock can provide good reservoir conditions. The Middle Cambrian Qinjiamiao salt rock and the Lower Cambrian Shipai and Tianhe argillaceous rocks also play the good role of regional cap rocks that seals hydrocarbon under them. It is suggested out that the favorable exploration areas are in Shizhu Synclinorium, the west part of Lichuan synclinorium and Yichang Stable Zone.

Key words: Middle Cambrian; Sub-salt formation; Source rock; Carbonate reservoir; Favorable exploration Zone; Exploration potential

Liu Li: female, Engineer. Add: Exploration and Development Research Institute of SINOPEC Jiangnan Oil Field Cop., Guanghua, Qianjiang, Hubei, 433124 China