

文章编号:1001-6112(2012)02-0115-05

四川盆地及其周缘上奥陶统一志留统 页岩气成藏体系研究

聂海宽¹, 包书景¹, 高波¹, 边瑞康¹, 张金川²

(1. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083;

2. 中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083)

摘要:通过对页岩层系发育的时代、沉积特征、演化历史、现今所处的大地构造位置、构造特征、页岩残留状况、分布特征、埋深和含气量等因素的综合考虑,根据“单源一位”页岩气成藏体系划分的一般性原则,将四川盆地及其周缘上奥陶统一志留统页岩气成藏体系划分为川南—川东南、黔北、渝东、湘鄂西、龙门山、米仓山—大巴山和川中7个成藏体系,描述了不同成藏体系中页岩层系的厚度、有机碳含量、成熟度和含气量等特征,并按战略展开区、战略突破区、战略准备区和战略远景区4个层次对成藏体系进行了评价,明确了勘探层次。

关键词:页岩气;成藏体系;上奥陶统;下志留统;四川盆地及其周缘

中图分类号:TE132.2

文献标识码:A

Accumulation system for shale gas from Upper Ordovician to Lower Silurian in Sichuan Basin and surrounding areas

Nie Haikuan¹, Bao Shujing¹, Gao Bo¹, Bian Ruikang¹, Zhang Jinchuan²

(1. SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China;

2. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Shale sedimentary time, feature, evolution history, present tectonic location, tectonic feature, residual condition, distribution, burial depth and gas content were discussed in this paper. The accumulation system for shale gas from the Upper Ordovician to the Lower Silurian in the Sichuan Basin and the surrounding areas was divided into 7 accumulation systems, including the southern and southeastern Sichuan, the northern Guizhou, the eastern Chongqing, the western Hunan and Hubei, Longmen Mountain, Micang Mountain–Daba Mountain, and the central Sichuan. Shale thickness, organic carbon content, maturity and gas content in each accumulation system were analyzed. The accumulation systems were evaluated at 4 levels as followed: strategic breakthrough, expansion, preparation and perspective area. Exploration targets were also pointed out.

Key words: shale gas; accumulation system; Upper Ordovician; Lower Silurian; Sichuan Basin and surrounding areas

前人研究认为南方地区的下古生界是我国页岩气发育有利区^[1-4],四川盆地及其周缘下古生界具有独特的地质条件,可与美国进行类比,是南方地区页岩气获得突破的重点地区^[1]。研究认为研究区上奥陶统一志留统黑色页岩具有厚度大、有机碳含量高及成熟度高等特点,具备页岩气发育的良好条件^[1-14]。本文从成藏体系角度对研究区上奥陶统一志留统页岩气进行研究,在综合考虑黑色页岩层系发育时代、沉积特征、演化历史、现今所

处的大地构造位置、构造特征、页岩残留状况、分布特点、埋深和含气量等因素的基础上,根据页岩气成藏体系划分的一般性原则对四川盆地及其周缘上奥陶统一志留统页岩气成藏体系进行了划分,并按战略展开区、战略突破区、战略准备区和战略远景区4个层次对成藏体系进行了评价。

1 成藏体系划分

页岩气成藏体系的划分应考虑“纵向分层次,

收稿日期:2011-07-18;修订日期:2012-02-01。

作者简介:聂海宽(1982—),男,博士后,从事油气成藏机理和非常规天然气研究。E-mail: niehk.syky@sinopec.com。

基金项目:中国博士后科学基金项目(20110490451)和国家专项《全国油气资源战略选区调查与评价》中国重点地区页岩气资源潜力及有利区带优选项目(2009GYXQ-15)资助。

平面分区块的特点”,在纵向上主要考虑黑色页岩的地质时代,相同、相近地质时代的黑色页岩层系归为一个成藏体系。在平面上,同一成藏体系具有以下特征:①相似的页岩沉积特征;②位于同一构造单元且具有相同或相似的构造形变和构造样式;③相似的页岩热演化史;④盆地现今构造二级或三级构造分区界限为成藏体系边界。根据上述页岩气成藏体系的划分原则,对四川盆地及其周缘上奥陶统一志留统页岩气成藏体系进行研究,将其划分为川南—川东南、黔北、渝东、湘鄂西、龙门山、米仓山—大巴山和川中7个成藏体系(本文所依据的页岩沉积相、厚度、有机碳含量、成熟度和含气量等指标详见文献[12])(图1)。

1.1 川南—川东南单源一位成藏体系

该成藏体系主要包括垭都—紫云断层(F₂₀)以

东、乐山—龙女寺古隆起以南、遵义—贵阳断层(F₁₈)以西以及四川盆地南部边界以北的广大地区。

上奥陶统一志留统黑色页岩主体沉积在川中古隆起和牛首山—黔中古隆起夹持的川南深水陆棚,厚度在40~120 m之间,厚度中心在宜宾—泸州一带,呈北东向展布;有机碳含量在泸州—綦江一带以南超过1%,宜宾—珙县一带超过4%;成熟度分布在2%~3.5%之间,泸州—习水一带最高为3.5%,向四周递减;宜宾—泸州以南的含气量在0.8~1.4 m³/t之间,由北向南递增,在四川盆地南部边界超过1.4 m³/t。上奥陶统一志留统黑色页岩在中三叠世开始生烃,在白垩纪中期达到最大埋深,R_o超过2%,达到生干气阶段,伴随着白垩纪中期的抬升,生烃阶段终止(图2)。

上奥陶统一志留统黑色页岩埋深在2000~

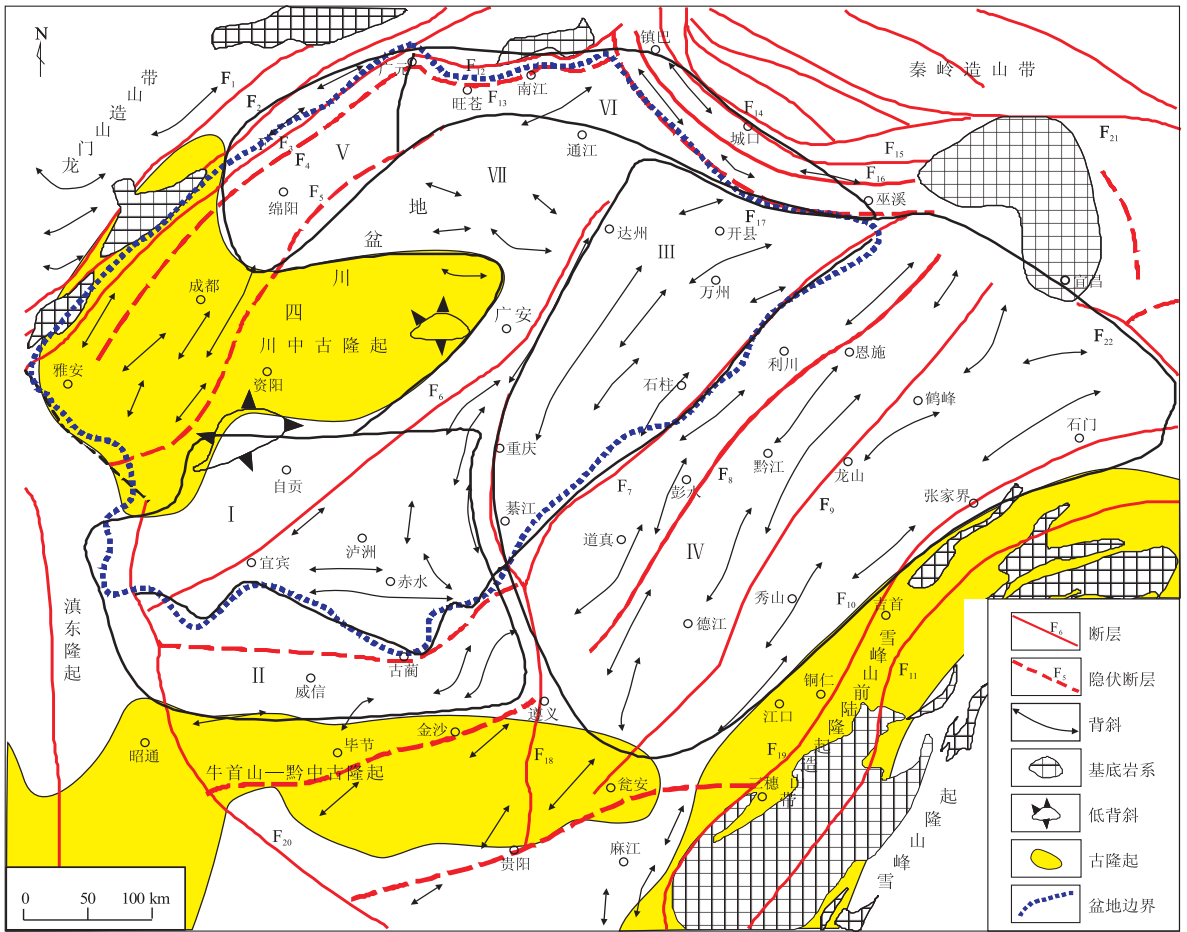


图1 四川盆地及其周缘上奥陶统一志留统页岩气成藏体系划分
底图据文献[15]。

I—VII. 7个上奥陶统一志留统单源一位成藏体系(I. 川南—川东南; II. 黔北; III. 渝东; IV. 湘鄂西; V. 龙门山; VI. 米仓山—大巴山; VII. 川中)
F₁. 青川—茂汶断层; F₂. 北川—映秀断层; F₃. 安县—灌县断层; F₄. 广元—大巴山断层; F₅. 龙泉山断层; F₆. 华蓥山断层; F₇. 齐岳山断层;
F₈. 建始—彭水断层; F₉. 来凤—假浪口断层; F₁₀. 慈利—大庸—保靖断层; F₁₁. 桃源—辰溪—怀化断层; F₁₂. 芷源—朱家坝断层;
F₁₃. 米仓山南缘隐伏断层; F₁₄. 城口—钟宝断层; F₁₅. 镇巴断层; F₁₆. 万源—巫溪断层; F₁₇. 铁溪—固军隐伏断层;
F₁₈. 遵义—贵阳断层; F₁₉. 三都断层; F₂₀. 垭都—紫云断层; F₂₁. 襄樊—广济断层; F₂₂. 洪湖—湘阴走滑断层

Fig. 1 Classification of accumulation systems for shale gas from Upper Ordovician to Lower Silurian in Sichuan Basin and surrounding areas

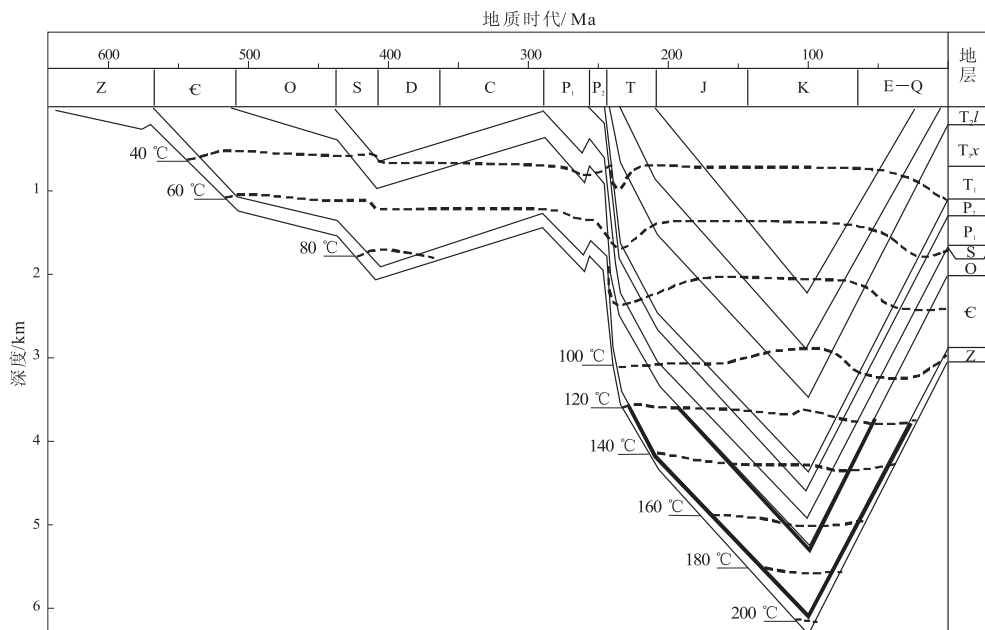
图2 川南地区威2井埋藏史^[16]

Fig. 2 Burial history of well Wei2 in southern Sichuan

4 000 m 之间, 威远以西的局部范围内, 龙马溪组顶界埋深小于 2 000 m, 内江—隆昌—泸县—长宁以北西区块及璧山—阳 63 井区—合江—江津所辖区块埋深 3 000 m 以下; 合川—铜梁—荣昌—内江—安岳所辖区块及江安—合江—赤水所辖区块埋深 3 000 ~ 4 000 m^[6]。均可能为该体系上奥陶统一志留统页岩气藏发育有利区。

1.2 黔北单源一位成藏体系

该体系指岷都—紫云断层(F_{20})以东、四川盆地边界以南、黔中隆起以北和遵义—贵阳断裂(F_{18})以西的广大地区, 主要指黔北凹陷。上奥陶统一志留统黑色页岩在黔中隆起附近没有沉积, 在黔北为浅水陆棚沉积, 厚度小于 40 m; 有机碳含量在 1% ~ 2% 之间, 以珙县—筠连一带最大, 超过 3%; R_o 基本上小于 2%; 含气量在 0.8 ~ 1.4 m³/t 之间, 在四川盆地南部边界超过 1.4 m³/t, 向南方减小。

1.3 渝东单源一位成藏体系

该成藏体系为华蓥山断裂(F_6)和遵义—贵阳断裂(F_{18})以东、铁溪—固军隐伏断裂(F_{17})以南、齐岳山断裂(F_7)以西的广大区域。

上奥陶统一志留统黑色页岩为渝东深水陆棚沉积, 厚度介于 20 ~ 100 m 之间, 在石柱附近达到最大值, 厚达 100 m; 有机碳介于 1% ~ 4% 之间, 最大值位于开县—万州一带; R_o 介于 2.5% ~ 4% 之间, 以开县—万州一带最大, 向四周递减; 含气量存在 2 个高值区, 即达州—开县—万州一带和石

柱—彭水一带, 前者含气量在 1 ~ 1.4 m³/t 之间, 后者的含气量在 0.8 ~ 1.2 m³/t 之间。下志留统已被证明是川东石炭系油藏的主力烃源岩。

以川东大池干井构造上的池 7 井为例, 上奥陶统一志留统黑色页岩从沉积后到晚二叠世热演化极缓慢, 处于未熟—低熟阶段($R_o < 0.5\%$), 中二叠世的埋深使其开始进入液态烃生成阶段, 中侏罗世后, 志留系地层处于快速埋藏状态, R_o 值从 1.3% 迅速演化至 2.2%, 有机质演化至高成熟期, 处于湿气转化阶段。从白垩纪开始, 大部分地区的志留系页岩 R_o 都超过了 3%^[17], 处于过成熟晚期阶段, 主要生成干气(图 3)。属于长期浅埋—快速埋藏—长期深埋—快速抬升型, 类似于美国目前页岩气产量最大的福特沃斯盆地的 Barnett 页岩的演化历史。

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^[18], 如果志留系厚度按 1 500 m 计算, 该体系页岩埋深均超过目前页岩气开采的最大深度。但在复背斜的局部地区, 可能存在上奥陶统一志留统黑色页岩埋藏比较浅的地区, 成熟度适中, 可能形成工业价值的页岩气藏。

1.4 湘鄂西单源一位成藏体系

该成藏体系指位于齐岳山断裂(F_7)和贵阳—遵义断裂(F_{18})以东、贵阳—镇远断裂以北、慈利—大庸—保靖断裂(F_{10})以西北、洪湖—湘阴走滑断裂(F_{22})以西南的区域。

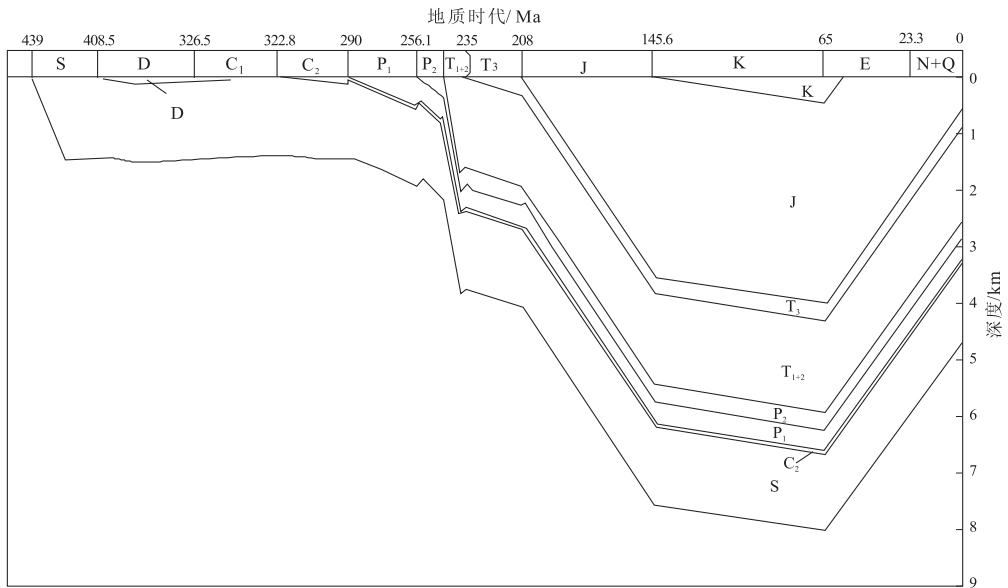


图 3 川东大池干井构造池 7 井志留系埋藏史^[17]

Fig. 3 Burial history of Silurian in Well Chi7, Dachiganjing Structural Belt, southern Sichuan

上奥陶统一志留统黑色页岩主体为湘鄂西深水陆棚沉积, 沉积中心在利川—道真一带, 亦是厚度中心, 最厚超过 100 m, 向南东方向减薄, 在德江—龙山一带只有 20 m; 有机碳含量在 1% ~ 4% 之间, 在武隆—彭水—黔江一带, 超过 3%, 在奉节—巫山—巴东—秭归一带有机碳含量超过 5%; R_o 介于 2% ~ 3% 之间, 具有南东低—北西高的特点; 含气量存在 2 个高值区, 即巫山—宜都一带和黔江—彭水—武隆一带, 前者含气量在 1 ~ 1.4 m³/t 之间, 后者含气量在 0.8 ~ 1.2 m³/t 之间。

上奥陶统一志留统黑色页岩演化属于长期埋藏、快速隆升型, 中三叠世进入生湿气阶段, 中侏罗世末期达到最大埋深, 已达高成熟晚期至过成熟早期, 进入生干气阶段, 燕山期以来快速抬升, 生烃作用停止(图 4)。在复背斜带上奥陶统一志留统黑色页岩可能出露遭受剥蚀, 而在复向斜带上奥陶统一志留统黑色页岩分布连续性较好, 且残存部分上古生界地层。上奥陶统一志留统黑色页岩埋深多在 800 ~ 1 500 m 范围内^[18], 大多数断层未断穿志留系, 对底部黑色页岩中天然气的保存极为有利, 是该体系页岩气勘探潜力较大的地区。

1.5 龙门山单源一位成藏体系

龙门山成藏体系位于川西, 上奥陶统一志留统沉积时为隆起和浅水陆棚, 隆起区缺失该套黑色页岩地层。上奥陶统一志留统黑色页岩只在龙门山北段局部分布, 目前常规油气勘探程度较弱, 页岩气研究基础也较薄弱。

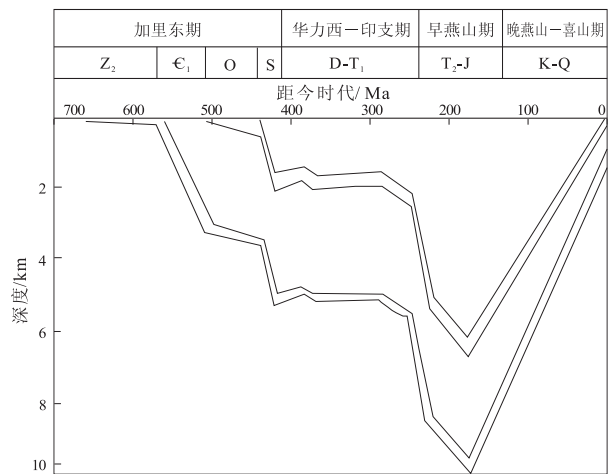


图 4 湘鄂西地区咸 2 井埋藏史^[19]

Fig. 4 Burial history of Well Xian2, western Hunan and Hubei

1.6 米仓山—大巴山单源一位成藏体系

该成藏体系位于川北—川(渝)东北, 包括正源—朱家坝断裂(F₁₂)以南、城口—钟宝断裂(F₁₄)以南、米仓山南缘隐伏断裂(F₁₃)和铁溪—固军隐伏断裂(F₁₇)以北的广大地区, 主要包括米仓山褶皱冲断带和大巴山褶皱冲断带。

上奥陶统一志留统沉积时, 川北—川(渝)东北为深水陆棚沉积, 页岩厚度在 20 ~ 120 m 之间, 在镇巴—紫阳一带超过 120 m; 有机碳含量在 1% ~ 5% 之间, 在南江—城口—巫溪—宜昌一带有机碳含量超过 2%; R_o 介于 1.5% ~ 3.5% 之间, 大部分区域在 2.5% ~ 3.5% 之间; 含气量普遍大于 0.8 m³/t, 南江—城口一带超过 1 m³/t。目前常规油气勘探程度较弱, 页岩气研究基础也较薄弱。

表1 四川盆地及其周缘上奥陶统一下志留统页岩气成藏体系评价

Table 1 Evaluation of accumulation systems for shale gas from Upper Ordovician to Lower Silurian in Sichuan Basin and surrounding areas

成藏体系	参数名称					综合排队
	厚度/m	有机碳/%	成熟度 R_o /%	含气量/ ($m^3 \cdot t^{-1}$)	常规油气 勘探基础	
川南—川东南	40~120	1~4	2~3.5	0.8~1.4	强	第1层次
渝东	20~100	1~4	2.5~4	1~1.4	强	第2层次
湘鄂西	30~100	1~4	2~3	1~1.4	弱	第2层次
黔北	<40	1~2	<2	0.8~1.4	弱	第3层次
龙门山					弱	第4层次
米仓山—大巴山	20~120	1~5	1.5~3.5	0.8~1	弱	第4层次
川中					弱	第4层次

1.7 川中单源一位成藏体系

该成藏体系位于龙泉山深断裂(F_5)以东,华蓥山深断裂带(F_6)以西,北抵米仓山南缘隐伏断裂(F_{13})和铁溪—固军隐伏断裂(F_{17}),南止峨眉—宜宾隐伏断裂带(乐山—龙女寺古隆起),是上扬子地台内现存最稳定的地区。区内构造极平缓,为大致呈北西倾的大单斜构造,其上发育极平缓的北东向及北西向背斜、鼻斜或鼻状构造,断褶构造发育程度极低。

上奥陶统和下志留统沉积时本区南部为川中古隆起,只在本区北部有浅水陆棚相沉积,黑色页岩厚度有限,页岩气发育地质条件差。

2 成藏体系评价

为了对各成藏体系的页岩气藏进行研究,根据厚度、有机碳含量、成熟度、含气量等特征并结合常规油气勘探程度(借助前期勘探成果,以期取得事半功倍的效果),分4个战略层次对上奥陶统一下志留统页岩气成藏体系进行综合评价,明确勘探层次,优选有利区带。第1层次为战略展开区,为页岩气勘探已经获得某种程度发现的地区,如发现了强烈的泥页岩段天然气显示甚至天然气生产区,建议进一步开展工作,争取打开页岩气勘探大局面;第2层次为战略突破区,为近期页岩气勘探可能获得发现的地区,建议加强页岩气基础地质研究,综合评价;第3层次为战略准备区,为页岩气接替领域,建议加强前期准备,确保页岩气勘探可持续发展;第4层次为战略远景区。

上奥陶统一下志留统页岩气成藏体系评价结果(表1)为:第1层次(战略展开区):川南—川东南成藏体系各项指标最好,为近期页岩气勘探战略展开的关键地区;第2层次(战略突破区):包括渝东成藏体系和湘鄂西成藏体系。这2个成藏体系

页岩气藏的各项指标可以和川南—川东南成藏体系相比,且目前已有部分上奥陶统一下志留统黑色页岩含气的报道,但是由于其常规油气勘探程度低,发现少,造成页岩气勘探时可供利用的资料较少,难度加大,排在第2层次,为页岩气勘探战略突破区;第3层次(战略准备区):主要指黔北成藏体系,由于黑色页岩厚度比较薄,作为战略准备区;第4层次(战略远景区):包括龙门山、米仓山—大巴山和川中成藏体系。

3 结论

1)将四川盆地及其周缘上奥陶统一下志留统页岩气成藏体系划分为川南—川东南、黔北、渝东、湘鄂西、龙门山、米仓山—大巴山和川中7个成藏体系,并按战略展开区、战略突破区、战略准备区和战略远景区4个层次对成藏体系进行了评价,明确了勘探层次。

2)川南—川东南上奥陶统一下志留统单源一位成藏体系具有常规油气勘探程度高、有机碳含量高、成熟度适中、最大生气时间较晚、抬升较晚和现今含气量大等特征,是现今研究区页岩气勘探研究值得关注的地区。

参考文献:

- [1] 张金川,聂海宽,徐波,等. 四川盆地页岩气成藏地质条件[J]. 天然气工业,2008,28(2):151-156.
- [2] 张金川,徐波,聂海宽,等. 中国页岩气资源量勘探潜力[J]. 天然气工业,2008,28(6):136-140.
- [3] 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.
- [4] 董大忠,程克明,王玉满,等. 中国上扬子区下古生界页岩气形成条件及特征[J]. 石油与天然气地质,2010,31(3):288-299.
- [5] 黄籍中. 四川盆地页岩气与煤层气勘探前景分析[J]. 岩性油气藏,2009,21(2):116-120.

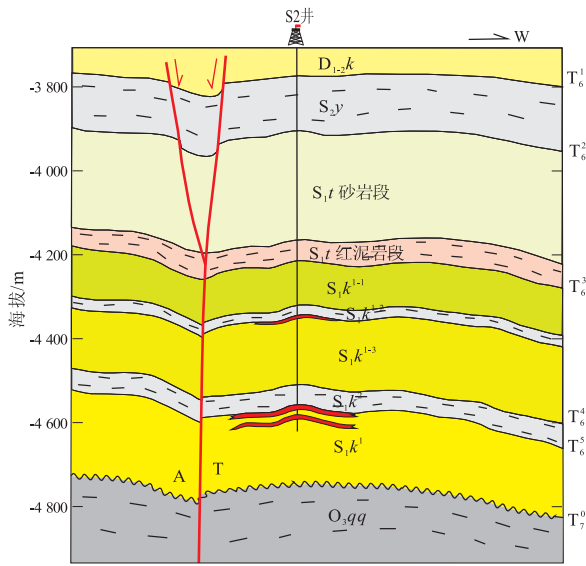
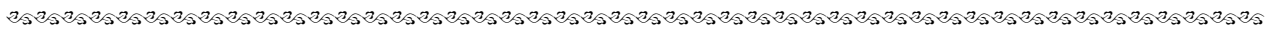


图 5 塔中顺托果勒区块 S2 井油藏剖面

Fig. 5 Reservoir section of well S2 in Shuntuoguole region, middle Tarim Basin

的加厚现象,判断志留纪末期—泥盆纪早期(加里东晚期—海西早期)为其主形成期。推测其形成机理可能主要与阿尔金岛弧在加里东晚期的斜向碰撞挤压作用诱发北东向的基底薄弱带产生走滑分量有关。

3) 顺托 1 号走滑断裂主断层在断面弯转处因扭动受阻,可形成上盘雁列式小断块和下盘低幅度背斜构造为主的局部圈闭,推测 S2 井志留系柯坪塔格组下段的低幅度背斜圈闭可能主要受控于走滑断裂的活动,同时走滑断裂向深层可沟通寒武—奥陶系油源,是油气运聚成藏的有利部位,值得下步油气勘探的重视。



(上接第 119 页)

[6] 王社教,王兰生,黄金亮,等. 上扬子区志留系页岩气成藏条件[J]. 天然气工业,2009,29(5):45-50.

[7] 陈波,皮定成. 中上扬子地区志留系龙马溪组页岩气资源潜力评价[J]. 中国石油勘探,2009,14(3):15-19.

[8] 王兰生,邹春艳,郑平,等. 四川盆地地下古生界存在页岩气的地球化学依据[J]. 天然气工业,2009,29(5):59-62.

[9] 王世谦,陈更生,董大忠,等. 四川盆地地下古生界页岩气藏形成条件与勘探前景[J]. 天然气工业,2009,29(5):51-58.

[10] 蒲泊伶,蒋有录,王毅,等. 四川盆地志留统龙马溪组页岩气成藏条件及有利地区分析[J]. 石油学报,2010,31(2):225-230.

[11] 聂海宽,张金川. 页岩气藏分布地质规律与特征[J]. 中南大学学报(自然科学版),2010,41(2):700-708.

[12] 朱炎铭,陈尚斌,方俊华,等. 四川地区志留系页岩气成藏的地质背景[J]. 煤炭学报,2010,35(7):1160-1164.

致谢:感谢中国石化石油勘探开发研究院钱一雄教授对本文进行审阅并提供了宝贵的修改意见!

参考文献:

[1] 漆家福,夏义平,杨桥. 油区构造解析[M]. 北京:石油工业出版社,2006:107-108.

[2] 严俊君,王燮培. 关于扭动构造的鉴别问题[J]. 石油与天然气地质,1996,17(1):8-14.

[3] 王燮培,费琪,张家骅. 石油勘探构造分析[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1991:133-163.

[4] 张承泽,于红枫,张海祖,等. 塔中地区走滑断裂特征、成因及地质意义[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2008,30(5):22-26.

[5] 吴根耀,李曰俊,王国林,等. 新疆西部巴楚地区晋宁期的洋岛火山岩[J]. 现代地质,2006,20(3):361-369.

[6] 李曰俊,吴根耀,孟庆龙,等. 塔里木盆地中央地区的断裂系统:几何学、运动学和动力学背景[J]. 地质科学,2008,43(1):82-118.

[7] 郭光辉,成丽芳,刘玉魁,等. 塔里木盆地寒武—奥陶系走滑断裂系统特征及其控油作用[J]. 新疆石油地质,2011,32(3):239-243.

[8] 陆克政. 含油气盆地分析[M]. 东营:石油大学出版社,2001:137.

[9] 刘玉瑞,刘启东,杨小兰. 苏北盆地走滑断层特征与油气聚集关系[J]. 石油与天然气地质,2004,25(3):271-283.

[10] 杨春林,吴奇之,夏义平. 塔里木盆地北部隆起中、新生界张扭断裂系统成因及其油气聚集的作用[J]. 石油地球物理勘探,2000,35(4):461-468.

[11] 吕修祥,白忠凯,赵风云. 塔里木盆地塔中隆起志留系油气成藏及分布特点[J]. 地学前缘,2008,15(2):156-165.

[12] 金之钧. 中国典型叠合盆地油气成藏研究新进展(之二):以塔里木盆地为例[J]. 石油与天然气地质,2006,27(3):281-288.

[13] 全裕科,侯洪斌,漆立新,等. 塔中北坡两顺地区志留系成藏条件及期次分析[J]. 矿物岩石,2008,28(4):100-108.

(编辑 韩 彧)

[13] 聂海宽. 页岩气成藏机理及其应用[D]. 北京:中国地质大学(北京),2010:70-94.

[14] 聂海宽,张金川. 页岩气储层类型和特征研究:以四川盆地及其周缘下古生界为例[J]. 石油实验地质,2011,33(3):219-225.

[15] 沃玉进,汪新伟. 中、上扬子地区地质结构类型与海相层系油气保存意义[J]. 石油与天然气地质,2009,30(2):177-187.

[16] 朱光有,张水昌,梁英波,等. 四川盆地威远气田硫化氢的成因及其证据[J]. 科学通报,2006,51(23):2780-2788.

[17] 王兰生,李宗银,沈平,等. 四川盆地东部大中型气藏成烃条件分析[J]. 天然气地球科学,2004,15(6):567-571.

[18] 肖开华,李双建,汪新伟,等. 中、上扬子区志留系油气成藏特点与勘探前景[J]. 石油与天然气地质,2008,29(5):589-596.

[19] 沃玉进,周雁,肖开华. 中国南方海相层系埋藏史类型与生烃演化模式[J]. 沉积与特提斯地质,2007,27(3):94-100.

(编辑 黄 娟)