

文章编号: 1001-6112(2011)01-0017-05

中上扬子区海相层系流体特征与油气保存条件

刘光祥^{1,2}, 沃玉进³, 潘文蕾², 张长江²

(1. 中国地质大学(北京) 能源地质学院, 北京 100083; 2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151; 3. 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:通过对中上扬子区地层水化学特征、地层水氢氧硫同位素、天然气组成特征、天然气烷烃碳同位素、甲烷氢同位素、天然气轻烃组成特征等的研究, 结合油气显示及产出情况将中上扬子区流体特征划分为 5 大区, 即: 川中—川西区(I)、川北—川东—川南区(II)、江汉盆地南部(III)、黔东南坳陷区(IV)和湘鄂西区、黔中及邻区、江汉盆地北部等区(V), 其对应的油气保存条件逐渐变差。

关键词: 氢氧硫同位素; 碳氢同位素; 地层水; 天然气; 油气保存条件; 海相层系; 中上扬子区

中图分类号: TE122.3⁺⁴

文献标识码: A

Fluid characteristics and hydrocarbon preservation conditions in marine facies strata of middle—upper Yangtze region

Liu Guangxiang^{1,2}, Wo Yujin³, Pan Wenlei², Zhang Changjiang²

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China;
3. SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on studies of formation water chemical characteristics, H, O and S isotopes in formation water, natural gas composition, C isotope in alkane, H isotope in methane and light hydrocarbon composition in the middle—upper Yangtze region, combined with petroleum shows and productions, the research area was divided into 5 blocks according to fluid characteristics: the middle and western Sichuan Basin (I), the northern, eastern and southern Sichuan Basin (II), the southern Jianghan Basin (III), the depression in the southeast of Guizhou Province (IV), as well as the west of Hunan and Hubei Provinces, the middle of Guizhou Province, and the northern Jianghan Basin (V). Preservation conditions decrease from I to V.

Key words: H, O and S isotopes; C and H isotopes; formation water; natural gas; hydrocarbon preservation condition; marine facies strata; middle—upper Yangtze region

利用储层流体特征反映油气保存条件的研究, 目前主要侧重于以下 2 个方面: 一是聚集的烃类(油、气)物质的物理、化学性质研究, 如原油密度、粘度、饱和烃气相色谱图基线“鼓包”(未识辨化合物)高低、轻重比、Pr/nC₁₇、25-降藿烷及其浓度等; 尽管天然气成分相对单一, 所包含的天然气生成、演化及保存的信息相对较少, 但天然气中往往含少量的轻烃, 其所包含的生源、演化、油气保存信息量相对较多, 浓缩轻烃分析近年来已运用于过成熟干气气/源对比、油气保存条件研究中^[1-4]。二是地层水无机地球化学特征研究, 如运用地层水常

规水化学、氢氧硫同位素、微量、痕量元素特征等来判别其成因及演化, 进而判别油气保存条件^[5-8]。

1 地层水特征与油气保存条件

1.1 地层水化学特征

中上扬子区地层水特征纵横向差异显著, 反映不同地区、不同层系油气保存条件差别较大。

四川盆地海相层系地层水矿化度普遍较高, 其中雷口坡组的最高(87~293 g/L), 二叠系相对最低; 各层系地层水矿化度平面分布具盆缘低、向盆内逐渐增高的趋势; 变质系数(rNa^+/rCl^-)普遍小

收稿日期: 2010-08-08; 修订日期: 2010-12-25。

作者简介: 刘光祥(1969—), 男, 博士生, 教授级高级工程师, 主要从事含油气盆地分析研究工作。E-mail: liugx@pepris.com。

基金项目: 国家科技重大专项项目(2008ZX05005-002)资助。

于 1, 脱硫系数 ($r\text{SO}_4^{2-} \times 100/r\text{Cl}^-$) 较低; 水型以 CaCl_2 为主, 总体反映出除盆内高陡构造带及盆缘局部地区属开启环境外, 总体具备油气保存的水化学条件^[9-13]。川中—川西区陆相层系(须家河组为代表)地层水矿化度高, 变质系数、脱硫系数低、水型以 CaCl_2 为主, 反映油气保存条件优越, 但川东区须家河组地层水化学特征变化大。在高陡背斜带普遍遭天水渗混改造, 不具备油气保存的水化学条件, 如张 1 井、成 15 井等; 但在宽向斜区具有油气保存的水化学条件, 如新 5 井等^[13-17]。

湘鄂西区地层水主要见于下古生界, 其矿化度普遍较低, 最高的为鱼 1 井灯影组地层水(14 g/L), 其它钻井揭露地层水矿化度仅为每升几克; 变质系数普遍大于 2, 反映为大气水强烈渗混改造区, 油气保存的水化学条件差。

黔中隆起及邻区各构造单元地层水矿化度较低, 水型较差, 变质系数、脱硫系数较高, 不利于油气的保存; 仅个别井地层水矿化度较高, 揭示出局部具较好的油气保存水文地质条件, 如庄 1 井(52.1 g/L)、羊 2 井(20.534 g/L)等^[18]。

江汉平原覆盖区: 从 21 口钻井的海相地层水化学资料看, 海相地层水矿化度介于 0.85~66.8 g/L, 平均值为 19.8 g/L; 变质系数介于 0.567~26.5, 平均值为 2.4; 脱硫系数变化于 0.02~202, 平均值为 9.8; 表现为中等矿化度、中等变质系数和中等脱硫系数, 硫酸钠水型为主。从横向变化特征看, K_2 —E 断陷盆地发育区海相层系地层水矿化度较高, 变质系数、脱硫系数低, 具淡化后再浓缩变质特征。

1.2 地层水氢氧硫同位素组成特征

1.2.1 地层水氢氧同位素组成特征

由图 1 可见, 不同层系地层水氢、氧同位素组成特征不一。

威远震旦系地层水点落于 δD — $\delta^{18}\text{O}$ 相关图的右下方, 远离海水端元, 是浓缩变质的结果, 反映优越的封闭保存条件。

寒武系地层水可明显分为 2 类: 威远气田寒武系地层水氢、氧同位素组成特征与震旦系地层水相近, 仅 δD 值略重, 远离海水端元, 为封闭浓缩的结果; 城口明通井、彭水郁二井地层水氢、氧同位素组成明显较威远气田的轻, 而与盆地大气降水平均氢、氧同位素组成十分相近, 集中分布在大气降水线下的左右两侧, 说明大气水已基本交替原始地层水, 油气保存条件差。

河 2 井志留系地层水氢、氧同位素组成特征与

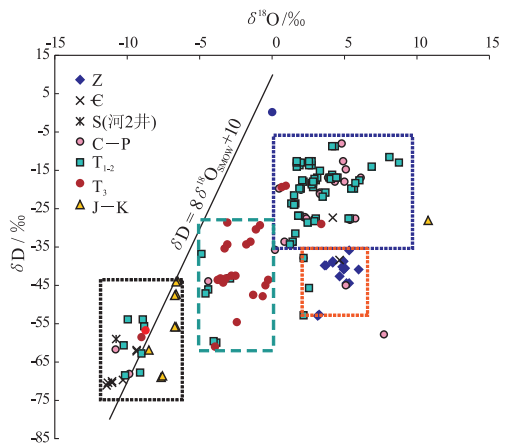


图 1 四川盆地及邻区地层水氢—氧同位素相关图
部分数据引自参考文献^[19-20]。

Fig. 1 H and O isotopes of formation water in Sichuan Basin and neighboring area

盆地大气降水平均值相近, 大气水已基本交替原始地层水, 开启程度高, 油气保存条件差, 这与河 2 井地层水特征反映的油气保存条件差相吻合。此外, 河 2 井甲烷碳同位素异常轻, 接近于生物成因气, 其可能是大气水携带喜氧细菌对甲烷改造的结果。

二叠系地层水除盆缘露头区氢、氧同位素组成特征与大气降水平均值相近(如诺水河二叠系泉水), 反映交替作用强烈, 油气保存条件较差外, 其它气田地层水氢、氧同位素点落于 δD — $\delta^{18}\text{O}$ 相关图的右上方, 分布相对集中, 且靠近海水端元。但氢同位素较海水轻, 而氧同位素较重, 属封闭浓缩变质水, 反映出具优越的油气保存水文环境。

中下三叠统地层水氢、氧同位素组成特征复杂, 可分为 3 类, 第 1 类(占 9.72%)与盆地大气降水平均值相近, 反映开启程度较高, 油气保存条件差; 第 2 类(占 81.94%)与二叠系的主体相近, 属封闭浓缩变质水; 第 3 类(占 8.34%)与须家河组地层水氢、氧同位素组成特征相近, 属海源沉积型与大气降水叠加型, 如建南气田建 10 井 T_1f 地层水($\delta^{18}\text{O} = -4.8\text{‰}$, $\delta\text{D} = -37\text{‰}$), 明显有别于第 2 类地层水氧、氢同位素组成特征。

1.2.2 地层水硫同位素组成特征

据林耀庭^[21]对四川盆地中下三叠统石膏和卤水的硫同位素研究表明: 1) 随时代变新, 硫同位素明显轻化, 且具阶梯状分布演化特点; 2) 同一层段的硫同位素纵横向分布稳定; 3) 石膏和地层水硫同位素具同源性, 同一层段的石膏和卤水的硫同位素大体相近, 具同步现象。如 T_1j^{4+5} 层段的石膏和卤水的 $\delta^{34}\text{S}$ 值分别为 28.3‰和 29.2‰; T_2l^4 则分别为 16.9‰和 15.6‰; T_1j^2 分别为 34.2‰和 35.9‰, 都

十分相近,说明两者具同源特征。由此表明,中下三叠统各储集层段流体分隔性强,无窜层现象,揭示出优越的封闭保存条件。

川岳 83 井飞仙关组地层水硫同位素为 38.6‰,较嘉一至嘉三段地层水硫同位素更重,反映为封闭环境;川 27 井自流井群地层水硫同位素为 35.4‰,与嘉一至嘉三段地层水硫同位素相近,可能揭示为海相地层水,反映出局部地区海相地层水上窜至陆相层系并驱替了原有地层水;而诺水河二叠系泉水硫同位素轻化明显,仅为 20.1‰,交替强烈,油气保存条件差。这与前述地层水化学、地层水氢氧同位素所获结论相吻合。

2 天然气特征与保存条件

2.1 天然气组分特征

中上扬子区天然气主要产于四川盆地。陆相产层天然气干燥系数($C_1/\sum C_{1-5}$)变化幅度大,分布于 0.862 7~0.988 2,而海相产层天然气干燥系数普遍大于 0.98。陆相产层天然气非烃气具低 N_2 、低 CO_2 和不含或微一低含量 H_2S ;海相产层天然气非烃气组成变化较大, H_2S 含量从低含硫至特高含量均有分布, N_2 、 CO_2 的含量变化幅度也较大,其中 CO_2 含量与 H_2S 含量具正相关关系,尤以川东气区最为显著(除本研究测试数据外,其它数据引自文献[22~31])。

2.2 天然气烷烃碳同位素组成特征

四川盆地海相产层天然气多属油型气,仅少数气样点落于煤型气与油气型的混源气区(图 2),如通南巴、元坝、赤水等。陆相产层天然气则相对较复杂,主体而言,多属腐殖型气,少数陆相气藏气属海相成因,如卧龙河须家河组、合江须家河组气藏

天然气^[28]、川东北区川涪 190 井自流井群天然气、分 1 井须家河组天然气等。反映局部地区海相天然气上窜至陆相层系聚集成藏,但其气藏规模较小。揭示出海相层系天然气保存条件总体较好,仅局部遭受过开启。

2.3 天然气甲烷氢同位素组成特征

川西、川中、川南气区陆相产层天然气甲烷氢同位素普遍轻于-140‰(图 3),其中,川中、川南气区甲烷氢同位素分布范围大致相当,不仅反映其母源性质相似,而且反映其具大致相似的演化程度。这与乙烷碳同位素反映为须家河组湖沼相烃源岩,甲烷碳同位素反映为成熟—高成熟的演化特点一致。川西气区天然气甲烷氢同位素略重,应该是演化程度较高的表征,因其乙烷碳同位素与川中、川西气区陆相层系天然气相似,而甲烷碳同位素明显偏重,反映源岩演化程度要高,这与须家河组烃源岩的埋深相对应。

川东北的毛坝 7 井须家河组产层天然气甲烷氢同位素明显较上述气区陆相层系的重,而与海相产层天然气甲烷氢同位素相近;从乙烷碳同位素看,其源自煤系地层,从甲烷碳同位素分析,其演化程度较川西陆相天然气低而略高于川中陆相天然气,因此,重的氢同位素可能并非高演化所致,而是沉积环境的表征。源岩形成时沉积水体盐度较高,与区内及邻区龙马溪组、栖霞—茅口组、龙潭组、须家河组烃源岩沉积环境相匹配的仅有龙潭组烃源岩,因此,毛坝 7 井须家河组天然气并非自生自储,而是龙潭组下部煤系烃源岩生成的天然气上窜的结果。

海相产层天然气甲烷氢同位素分布于-140‰~-97‰,平均值为-118‰,标准偏差为 7.3‰,总体较陆相产层天然气的重,表明源岩发育环境、母

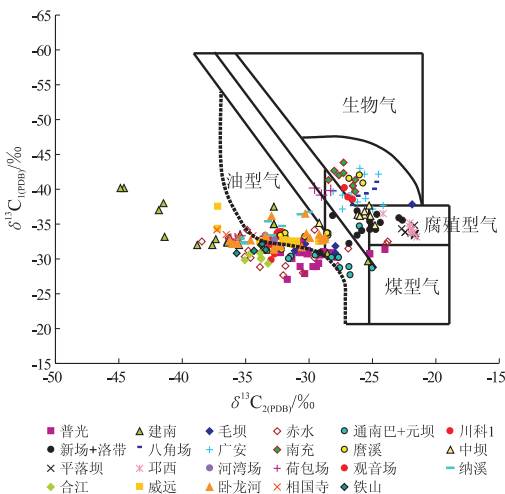


图 2 四川盆地天然气成因类型

Fig. 2 Genesis types of natural gas in Sichuan Basin

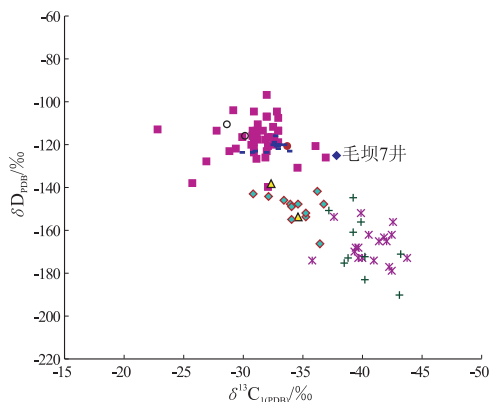


图 3 四川盆地天然气甲烷碳—氢同位素相关图

Fig. 3 C and H isotopes of methane in natural gas, Sichuan Basin

质类型、成熟度均存在差异,这与烃源岩研究结果相一致。

从四川盆地天然气甲烷氢同位素看,陆相产层天然气明显有别于海相产层,主体反映为自生自储,揭示出海相天然气保存系统保存条件优越,仅局部地区海相油气保存系统曾一度开启,天然气上窜至陆相层系聚集成藏(如毛坝 7 井 T_{3x} 、马 2 井 T_{3x} 等层位天然气)。这与烷烃气碳同位素所获结论相吻合。

2.4 天然气轻烃组成特征

在 C_7 轻烃系统中海相产层天然气正庚烷(nC_7)相对含量最高,分布于 48%~67%之间,平均值为 56.59%;甲基环己烷(MCC₆)相对含量次之,分布于 26%~39%,平均值为 31.86%;二甲基环戊烷(DMCC₅)相对含量最低,分布于 5%~17%,平均值为 11.56%,反映源岩母质类型属 I—II₁型(图 4)。陆相产层(主要为须家河组)天然气正庚烷相对含量较海相产层的低,分布于 11.5%~32.5%,平均值为 20.26%;而甲基环己烷相对含量较海相产层的高得多,分布于 49.5%~86%,平均值近 60%(59.96%);二甲基环戊烷相对含量较海相产层的略高,主体分布于 14%~26%,平均为 20.4%,反映源岩母质类型属 II₂—III型。

海、陆相产层天然气成因类型明显不一,表明海相层系天然气保存条件优越。少数陆相层系天然气反映为海相成因,如川涪 190 井(J_{1z})、毛坝 7 井(T_{3x})、分 1 井(T_{3x})天然气,其轻烃组成特征与海相产层天然气相似,而明显有别于其它陆相产层天

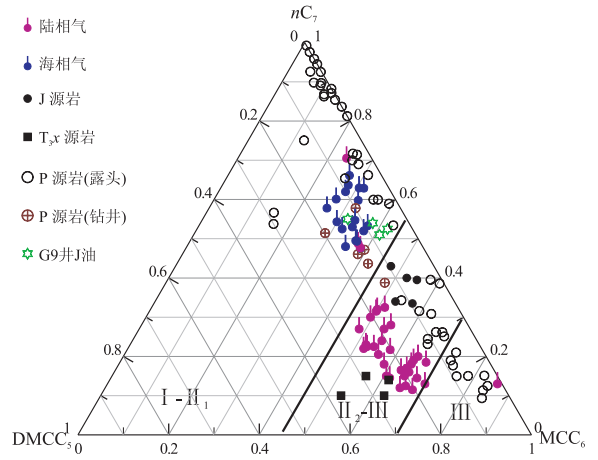


图 4 四川盆地天然气浓缩烃、源岩吸附烃中 C_7 轻烃组成三角图 部分数据引自参考文献[3—4,32]。

Fig. 4 C_7 light hydrocarbons in condensate and adsorption, Sichuan Basin

然气,这与前述天然气甲、乙烷碳同位素反映的成因类型一致,说明局部地区海相油气保存系统曾一度遭受过开启,天然气运移至陆相层系聚集成藏。

3 流体特征分区与保存条件

根据上述地层水化学特征、地层水氢氧硫同位素、海陆相产层天然气特征、油气产出、显示情况及其有机地球化学特征,将中上扬子区流体特征划分为以下 5 个区(图 5),其对应的油气保存条件逐渐变差。

川中—川西区(I):无论是海相层系,还是陆相层系(须家河组),不仅地层水矿化度高,变质系

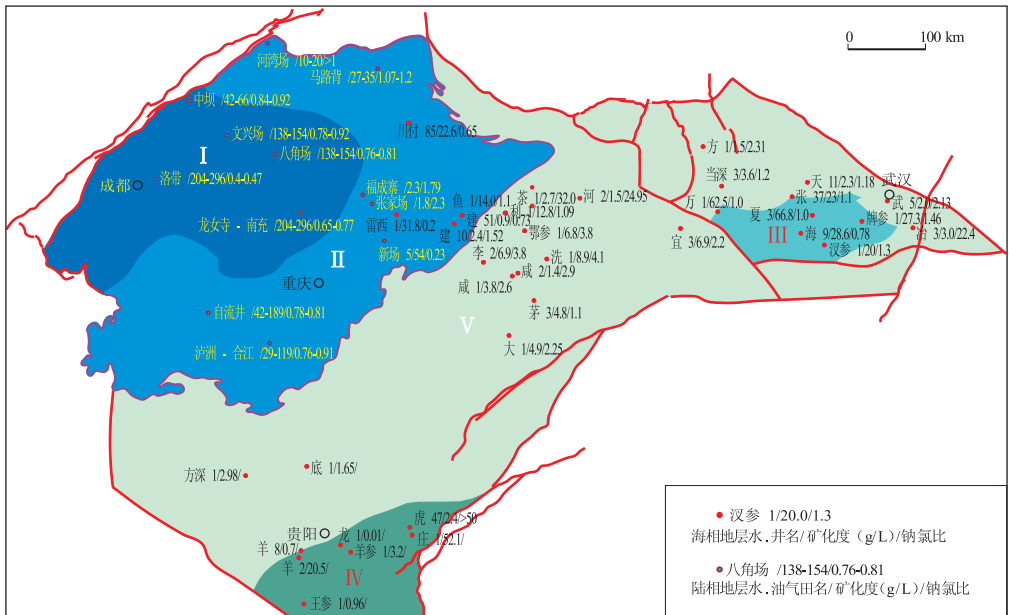


图 5 中上扬子区流体特征分区

Fig. 5 Fluid characteristics division in middle—upper Yangtze region

数、脱硫系数低,水型为 CaCl_2 型,而且海、陆相产层天然气分属不同的成矿系统,陆相产层中未见海相天然气,海相层系油气保存条件十分优越。

川北—川东—川南区(Ⅱ):区内石炭系、上震旦统无论是地层水矿化度、水型、离子组成特征、水化学特征系数,还是地层水氢氧同位素均反映出浓缩深变质的特点,其保存条件优越。川东—川南区二叠系—中三叠统在高陡背斜核部裸露地表,致使局部地区地层水被淡化,矿化度降低,水型为 Na_2SO_4 和 NaHCO_3 型,变质系数、脱硫系数增高,油气保存条件欠佳,如石油沟—石龙峡一带嘉陵江组地层水。从建南气田地层水氢氧同位素看,海相地层水曾遭受过大气水改造(印支期),但后期盖层的叠加又重建了油气封闭保存系统。本区另一显著的特点是陆相层系中见海相天然气,如卧龙河、合江须家河气藏、毛坝 7 井(T_3x)、分 1 井(T_3x)、川涪 190 井(J_1z)等,表明海相油气保存系统曾一度遭受过开启,海相天然气上窜至陆相层系成藏,但其规模较小,可能主要得益于中下三叠统膏盐岩的可塑性,构造活动之后,自行愈合,又重建了海相油气保存系统。川东区须家河组地层水明显不同于川中—川西区,以富含硫酸根, Ba^{2+} 含量低为特征,与海相层系的相似,而且地层水化学特征横向变化大同样反映出海相油气保存系统曾遭受过改造。

江汉盆地南部(Ⅲ):海相层系地层水矿化度、变质系数横向变化较大,与四川盆地海相层系相比,其矿化度要低得多,而变质系数明显要高,主要是因为燕山中幕的改造十分强烈,局部地区震旦系曾裸露地表,地层水普遍遭强烈淡化; K_2 —E 断陷盆地的叠加,地层水再次封闭浓缩形成今貌,具改造再浓缩的特点。

黔东南坳陷区(Ⅳ):本区流体特征变化较大,地层水普遍呈低矿化度、高变质系数的特点,但也有高矿化度地层水存在,如庄 1 井、羊 2 井,揭示出局部地区存在油气保存的水文地质条件;虎 47 井原油饱和和烃气相色谱图基线平直,正构烷烃分布齐全,明显不同于洛棉上青山奥陶系油苗,也反映地腹原油保存条件较好。结合多口钻井见油气显示,仅个别钻井获低产工业油流的现状,称该区为改造残留型。

其它地区(Ⅴ):湘鄂西区、黔中及邻区、江汉盆地北部等区,从已有的地层水资料看,其矿化度一般小于 10 g/L ,变质系数高,氢氧同位素点落于平均大气降水线附近,远离海水端元,大气水渗入改

造强烈;由于多数钻井开孔于寒武系,在有志留系盖层分布区其流体特征不清,推测局部地区可能具备油气保存的水化学条件。

参考文献:

- [1] 刘光祥,蒋启贵,潘文雷,等. 干气中浓缩轻烃分析及应用[J]. 石油实验地质,2003,25(增刊):585—589.
- [2] 潘文蕾,梁舒,刘光祥,等. 地层水中微量有机质分析及应用:以川东、川东北区油气保存条件研究为例[J]. 石油实验地质,2003,25(增刊):590—594.
- [3] 王顺玉,明巧,贺祖义,等. 四川盆地天然气 C_4 — C_7 烃类指纹变化特征研究[J]. 天然气工业,2006,26(11):11—14.
- [4] 谢增业,杨威,胡国艺,等. 四川盆地天然气轻烃组成特征及其应用[J]. 天然气地球科学,2007,18(5):720—725.
- [5] 徐德英,周江羽,王华,等. 渤海湾盆地南堡凹陷东营组地层水化学特征的成藏指示意义[J]. 石油实验地质,2010,32(3):285—289.
- [6] 朱玉双,王小李,李莉,等. 准噶尔盆地彩南油田流体性质变化特征及其意义[J]. 石油实验地质,2009,31(4):329—332.
- [7] 邓模,吕俊祥,潘文蕾,等. 鄂西渝东区油气保存条件分析[J]. 石油实验地质,2009,31(2):202—206.
- [8] 沈照理. 水文地球化学基础[M]. 北京:地质出版社,1986.
- [9] 江兴福,谷志东,赵容容,等. 四川盆地环开江—梁平海槽飞仙关组地层水的地化特征及成因研究[J]. 天然气勘探与开发,2009,32(1):5—7,17.
- [10] 王兰生,陈盛吉,杨家静,等. 川东石炭系储层及流体的地球化学特征[J]. 天然气勘探与开发,2001,24(3):28—38,21.
- [11] 徐国盛,刘树根. 川东石炭系天然气富集的水化学条件[J]. 石油与天然气地质,1999,20(1):15—19.
- [12] 成艳,陆正元,赵路子,等. 四川盆地西南边缘地区天然气保存条件研究[J]. 石油实验地质,2005,27(3):218—221.
- [13] 翟光明. 中国石油地质志 卷十四:川油气区[M]. 北京:石油工业出版社,1989.
- [14] 吴欣松,姚睿,龚福华. 川西须家河组水文保存条件及其勘探意义[J]. 石油天然气学报,2006,28(5):47—50.
- [15] 雍自权,李俊良,周仲礼,等. 川中地区上三叠统香溪群四段地层水化学特征及其油气意义[J]. 物探化探计算技术,2006,28(1):41—45.
- [16] 李伟,杨金利,姜均伟,等. 四川盆地中部上三叠统地层水成因与天然气地质意义[J]. 石油勘探与开发,2009,36(4):428—435.
- [17] 杨磊,温真桃,宋洋. 川东上三叠统气藏保存条件研究[J]. 石油地质与工程,2009,23(2):22—25.
- [18] 翟光明. 中国石油地质志 卷十一:滇黔桂油气区[M]. 北京:石油工业出版社,1989.
- [19] 尹观,倪师军,高志友,等. 四川盆地卤水同位素组成及氡过量参数演化规律[J]. 矿物岩石,2008,28(2):56—62.
- [20] 林耀庭,潘尊仁. 四川盆地气田卤水浓度及成因分类研究[J]. 盐湖研究,2001,9(3):1—7.
- [21] 林耀庭. 四川盆地三叠纪海相沉积石膏和卤水的硫同位素研究[J]. 盐湖研究,2003,11(2):1—7.

26.9 m/10 层,石膏岩层计 4 层,石膏质白云岩层计 7 层;林 1 井膏岩类厚 99 m/10 层。这些地下所见的膏质岩类盖层与四川盆地南部的地表露头广布的膏溶角砾岩相对应。

所以,结合地下与地表,可以说,四川盆地南部形成了一条 100 多公里长的弧形优质石膏盖层带,那么,盐下领域的勘探前景必然大有可为。

事实上,盐下的威远气田的成功勘探与突破就是典型的例子。威远气田发育 3 套储层,其中,寒武系盐下 2 套即震旦系灯影组、下寒武统龙王庙组,盐上 1 套即洗象池群。1964 年上震旦统灯影组发现了灯影组大气田;2004 年以后,威远构造的老井上试回采,又新发现了中上寒武统洗象池群气藏群;2005 年威寒 1 井在下寒武统遇仙寺组产气 $12.303 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,又开辟了一个盐下新层系。

但是,其他重要地区如川东南区块、川西南区块的寒武系与震旦系目的层仍然没有取得多大进展,这与 60 余 m 厚的膏盐岩事实不符合。因此,四川盆地南部的膏质岩类优质盖层的确定无疑为该区提供了具有较大勘探潜力的科学依据。

参考文献:

[1] 王津义,付孝悦,潘文蕾,等. 黔西北地区下古生界盖层条件

研究[J]. 石油实验地质,2007,29(5):477—482.

[2] 田海芹,郭彤楼,胡东风,等. 黔中隆起及其周缘地区海相下组合与油气勘探前景[J]. 古地理学报,2006,8(4):509—518.

[3] 周明辉,梁秋原. 黔中隆起及其周缘地区“下组合”油气地质特征[J]. 海相油气地质,2006,11(2):11—24.

[4] 陈洪德. 中国南方海相震旦系—中三叠统构造—层序岩相古地理研究及编图[M]. 成都:成都理工大学出版社,2002:1—161.

[5] 杨勤生. 滇东北油气盐矿产资源成矿条件与找矿前景[J]. 云南地质,2009,28(1):1—7.

[6] 刘家军,柳振江,杨艳,等. 盐类在金属、非金属成矿过程中的作用[J]. 地质找矿论丛,2007,22(3):161—171.

[7] 四川地质局第一区域地质测量队. 雷波幅区域地质调查报告(1:20 万)[R]. 1972.

[8] 四川地质局第一区域地质测量队 6 分队. 荣经幅区域地质调查报告(1:20 万)[R]. 1974.

[9] 四川地质局第 107 区域地质测量队. 南川幅区域地质调查报告(1:20 万)[R]. 1977.

[10] 冉隆辉,谢姚祥,戴弹申. 四川盆地东南部寒武系含气前景新认识[J]. 天然气工业,2008,28(5):5—9.

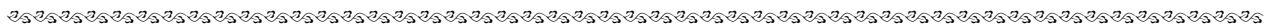
[11] 冯增昭,彭勇民,金振奎,等. 中国寒武世和奥陶纪岩相古地理[M]. 北京:石油工业出版社,2004:1—260.

[12] 冯增昭,彭勇民,金振奎,等. 中国中寒武世岩相古地理[J]. 古地理学报,2002,4(2):1—12.

[13] 徐克定. 南方海相古生界油气勘探选区评价的一些想法[J]. 南方油气地质,1995(4):1—15.

[14] 孙玮,刘树根,韩克猷,等. 四川盆地震旦系油气地质条件及勘探前景分析[J]. 石油实验地质,2009,31(4):350—355.

(编辑 徐文明)



(上接第 21 页)

[22] 姜均伟,张英芳,李伟,等. 八角场地区香四段气藏的成因与意义[J]. 断块油气田,2009,16(1):16—19.

[23] 李登华,汪泽成,李军. 川中磨溪气田烷烃气组分和碳同位素系列倒转成因[J]. 新疆石油地质,2006,27(6):699—703.

[24] 张水昌,朱光有,陈建平,等. 四川盆地川东北部飞仙关组高含硫化氢大型气田群气源探讨[J]. 科学通报,2007,52(增刊 I):86—94.

[25] 马永生,蔡勋育,李国雄. 四川盆地普光大型气藏基本特征及成藏富集规律[J]. 地质学报,2005,79(6):858—865.

[26] Li Jian, Xie Zengye, Dai Jinxing, et al. Geochemistry and origin of sour gas accumulations in the northeastern Sichuan Basin, SW China[J]. Org Geochem,2005,36(12):1703—1716.

[27] 李登华,李伟,汪泽成,等. 川中广安气田天然气成因类型及

气源分析[J]. 中国地质,2007,34(5):829—836.

[28] 戴金星,倪悦燕,邹才能,等. 四川盆地须家河组煤系烷烃气碳同位素特征及气源对比意义[J]. 石油与天然气地质,2009,30(5):519—529.

[29] 朱光有,张水昌,梁英波,等. 四川盆地天然气特征及气源[J]. 地学前缘,2006,13(2):234—247.

[30] 肖芝华,谢增业,李志生,等. 川中—川南地区须家河组天然气同位素组成特征[J]. 地球化学,2008,37(3):245—250.

[31] 肖芝华,谢增业,李志生,等. 川中川南地区须家河组天然气地球化学特征[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2008,30(4):27—30.

[32] 胡东风,蔡勋育. 川东南地区官 9 井侏罗系原油地球化学特征[J]. 天然气工业,2007,27(12):152—155.

(编辑 徐文明)