

金湖凹陷三河次凹戴南组油气藏烃源条件分析

巢 越

(中国石化江苏油田分公司勘探开发研究院, 江苏 扬州 225009)

摘要:三河次凹为苏北盆地金湖凹陷主力生烃次凹之一, 古近系阜宁组二段(E_1f_2)、四段(E_1f_4)烃源岩已达生油门限, 主力含油层系为阜宁组二段+一段(E_1f_{2+1})、三段(E_1f_3)和戴南组一段(E_2d_1), 储层相对发育, 具有稳定的区域盖层, 成藏条件优越。利用最新的烃源岩分析化验资料, 对三河次凹 E_1f_4 烃源岩进行了精细的刻画。油源对比研究表明:三河次凹(E_2d)油气主体来自 E_1f_4 烃源岩, 石港地区发现的油气有 E_1f_2 烃源岩的贡献;三河次凹 E_1f_4 烃源岩镜质体反射率大于 0.65% 戴南组的范围局限在深凹部位。

关键词:烃源岩 油源对比 阜四段 三河次凹

中图分类号:TE122 文献标志码:A

Analysis of hydrocarbon source conditions of Dainan Formation in Sanhe Subsag of Jinhu Sag

CHAO Yue

(Exploration and Development Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou 225009, China)

Abstract: Sanhe Subsag is one of the main hydrocarbon – generating subsags in Jinhu Sag. The source rocks of E_1f_2 and E_1f_4 have reached the threshold of oil generation. The main oil – bearing strata in the subsag are E_1f_{2+1} , E_1f_3 , and E_2d_1 , where reservoirs are relatively developed, the regional caprocks are stable, and the conditions of reservoir – forming are superior. By analyzing the latest test data of source rocks, this paper gives a detailed description of the source rocks of the fourth member of Funing Formation in Sanhe Subsag. The oil – source correlation study shows that the main oil source rocks of Dainan Formation in Sanhe Subsag are from the fourth member of Funing Formation; the source rock of the second member of Funing Formation is contributive to the oil found in Shigang area; the range of Ro more than 0.65% in E_1f_4 source rock of Sanhe Subsag is confined to the deep sag.

Key words: source rock; oil source correlation; fourth member of Funing Formation; Sanhe Subsag

金湖凹陷位于苏北盆地西南部, 南与苏南隆起相接, 北至建湖隆起, 东与菱塘桥低凸起相连, 西至张八岭隆起, 是晚白垩世–新生代形成的南断北超的箕状凹陷。

三河次凹为金湖凹陷主力生烃次凹之一(图1), 成藏条件优越, 油气富集程度较高。近年, 针对三河次凹戴南组(E_2d)部署实施的多口探井取得较好的勘探成果, 特别针对隐蔽油气藏勘探的GX29A井获得成功, 拓宽了金湖凹陷油气勘探领域。因此, 开展三河次凹戴南组油气藏的油源条件研究, 对深入挖潜老区油气资源具有重要意义。

前人研究结果表明^[1], 苏北盆地戴南组本身不

具备生油能力, 在金湖凹陷三河次凹发现的戴南组油气藏为典型的它源油藏, 必须依靠大断层沟通下伏阜四段(E_1f_4)或阜二段(E_1f_2)烃源岩供烃。因此, 烃源岩的分布范围直接控制着 E_2d 油气藏平面上的分布。本文通过补充最新的烃源岩化验分析资料, 进一步对金湖凹陷三河次凹 E_2d 油气藏油源条件进行分析。

收稿日期:2019-03-12; 改回日期:2019-05-14。

作者简介:巢越(1990—),女,石油地质助理师,硕士研究生,从事苏北盆地金湖凹陷石油地质方面研究工作。Email:chaoyue.jsyt@sinopec.com.。

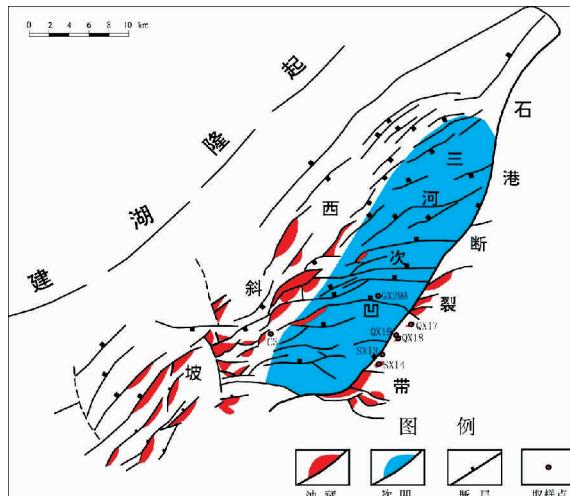


图1 金湖凹陷三河次凹构造

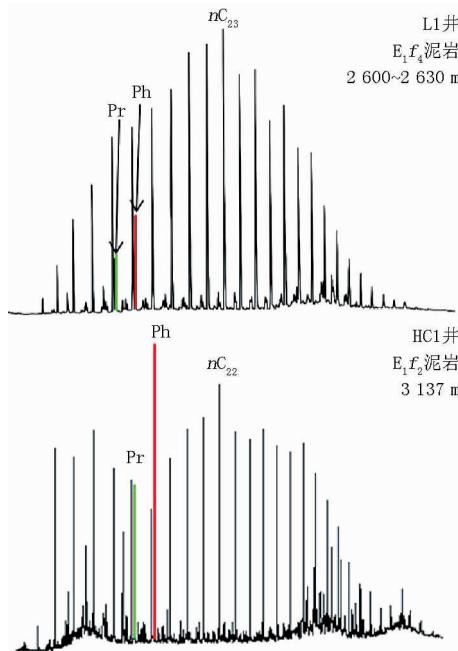
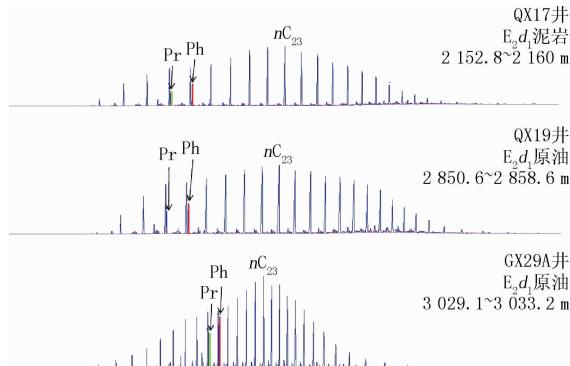
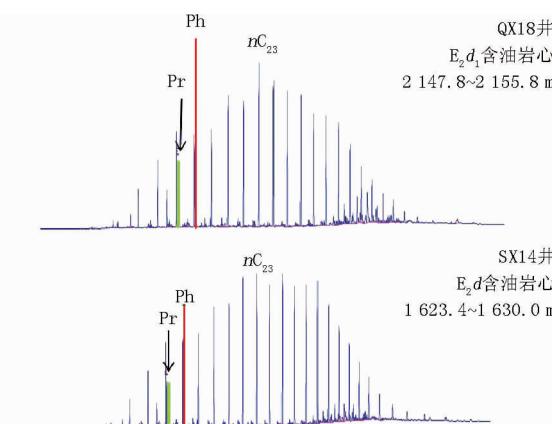
1 油源对比

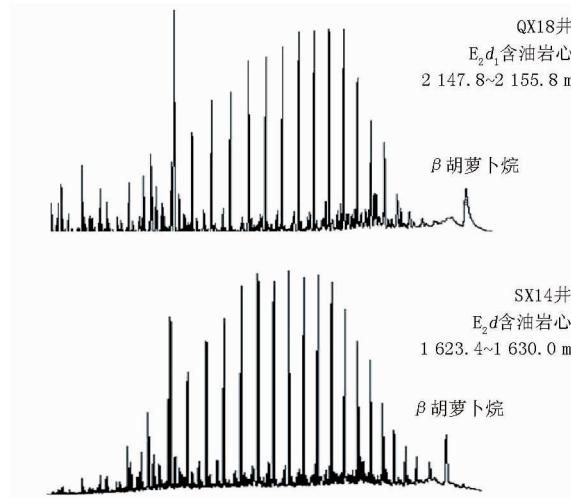
油气的分布首先直接受控于油源,油源对比的研究成果对油气勘探的评价和预测有非常重要的意义。通过油源对比,可以确定盆地中各个油藏的油气来源,圈定可靠的源岩层和油源区,进而建立源与藏的成因关系,从而为油气勘探提供理论依据^[2]。

关于金湖凹陷生油岩的丰度及有机地化特征,前人做了大量研究^[3-6],已经明确金湖凹陷 E₁f₄、E₁f₂“来源油”在地化特征上有所区别(图2)。本文主要从原油及烃源岩的正构烷烃分布特征、姥植比(Pr/Ph)、原生甾烷及β-胡萝卜烷等几个方面做油源的判断。通过对比,表明三河次凹油气具有不同的来源:QX17井(2 152.8~2 160.0 m)、QX19井(2 850.6~2 858.6 m)、GX29A井(3 029.1~3 033.2 m)的E₂d原油样品及SX14井(1 724.8~1 733.6 m)、SX13井(2 522.1~2 530.7 m)E₂d含油岩心样品的正构烷烃分布均具有nC₂₃主峰特征(表1),同时在饱和烃色谱图上呈现出弱植烷优势(图3),具有E₁f₄来源特征;而QX18井(2 147.8~2 155.8 m)、QX19井(2 783.9~2 792.1 m)、SX14井(1 623.4~1 630.0 m)E₂d含油岩心样品的正构烷烃分布则呈现出nC₂₂主峰的特征(表1),且QX18井、SX14井在饱和烃色谱图上呈现出较明显的植烷优势(图4),偏向于E₁f₂来源。而QX19井、SX14井不同深度的E₂d样品特征不同,证实其存在混源特征。

上述正烷烃分布具“nC₂₃尖顶”特征的油样,多数在C₂₇、C₂₈、C₂₉原生甾烷分布上具E₁f₄来源的“V”字形分布特征(表1)。而SX14井E₂d含油岩

心和QX19井E₂d原油的甾烷分布呈现出“椅式”特征(表1),αααC₂₉R在三种甾烷中占绝对优势,这也表明SX14井、QX19井有E₁f₂来源油的混入。

图2 L1井E₁f₄生油岩与HC1井
E₁f₂生油岩饱和烃色谱特征对比图3 E₂d₁原油色谱图4 E₂d含油岩心样品饱和烃色谱

图 5 E₂d 岩样 β -胡萝卜烷特征(m/z 125)

相对来说,正烷烃呈现“ nC_{22} 尖顶”特征的QX18井、SX14井E₂d含油岩心样品的C₂₇、C₂₈、C₂₉原生甾烷分布表现出“椅式”特征, $\alpha\alpha\alpha C_{29}R$ 在三种甾烷中占绝对优势,并且检测出较丰富的 β -胡萝卜烷(图5),代表了E₁f₂来源。

油成熟度可以依据甾烷异构化参数 $\alpha\alpha\alpha C_{29}(20S)/(20S+20R)$ 确定^[7],简称SM,分为特低熟(<0.2)、低熟(0.2~0.3)、成熟(≥ 0.3)三个级别,这是国内第三系生油研究的常用指标。从总体上看,上述大部分样品SM值均小于0.3,处于低熟阶段,且具“椅式”分布油的成熟度(SM值)多数要略高于“V”字形分布的油(表1),即E₁f₄来源油成熟度相对E₁f₂较低。

表1 三河次凹戴南组原油、含油岩心样品地化参数

井名	样品类型	深度/m	油源	主峰 碳数	Pr/Ph	Pr/ nC_{17}	Ph/ nC_{18}	$\alpha\alpha\alpha C_{27}R$ /%	$\alpha\alpha\alpha C_{28}R$ /%	$\alpha\alpha\alpha C_{29}R$ /%	原生甾烷 分布形态	SM
QX18	含油岩心	2147.8~2155.8	E ₁ f ₂	nC_{22}	0.31	0.810	2.740	27	31	42	椅型	0.21
QX17	原油	2152.8~2160.0	E ₁ f ₄	nC_{23}	0.62	0.400	0.640	35	28	38	v型	0.24
GX29A	原油	3029.1~3033.2	E ₁ f ₄	nC_{23}	0.51	0.460	0.830	37	29	34	v型	0.22
SX13	含油岩心	2522.1~2530.7	E ₁ f ₄	nC_{23}	0.64	0.373	0.514	33	31	36	v型	0.33
QX19	含油岩心	2783.9~2792.1	E ₁ f ₄ +E ₁ f ₂	nC_{22}	0.65	0.300	0.430	39	28	33	v型	0.36
QX19	原油	2850.6~2858.6	E ₁ f ₄ +E ₁ f ₂	nC_{23}	0.59	0.340	0.520	27	30	43	椅型	0.52
SX14	含油岩心	1623.4~1630.0	E ₁ f ₄ +E ₁ f ₂	nC_{22}	0.37	0.630	1.680	28	32	40	椅型	0.28
SX14	含油岩心	1724.8~1733.6	E ₁ f ₄ +E ₁ f ₂	nC_{23}	0.46	0.470	0.980	29	31	40	椅型	0.28

以上数据说明,金湖凹陷三河次凹E₂d主要油源为E₁f₄烃源岩;在石港断裂带存在E₁f₂来源油,研究认为,该区断层发育,具有纵向沟通E₁f₂烃源岩的能力。

2 烃源评价

2.1 有机质丰度

有机质丰度是评价烃源岩质量的首要指标,对烃源岩中有机质丰度的评价一般从有机碳含量(TOC)、生烃潜力(S_1+S_2)、氯仿沥青“A”和总烃这几方面进行评价。

据前人研究^[3~4],E₁f₄烃源岩可分为上部泥灰岩段(一套富含有机质的灰黑色、黑色泥页岩夹薄层泥灰岩)和下部弹簧段(灰黑色泥岩与深灰色粉砂质泥岩互层,因电阻率曲线形状像弹簧而得名)。

据表2,金湖凹陷E₁f₄烃源岩上部泥灰岩段是较好的烃源岩,下部弹簧段各项生烃指标都较低,属于非~差烃源岩。

为了进一步评价三河次凹的E₁f₄烃源岩,对GX29A井、C3井、SX13井E₁f₄烃源岩取心样品的地化参数进行了分析。

表2 金湖凹陷E₁f₄烃源岩平均有机质丰度

时段	TOC/%	“A”/%	总烃/ ($mg \cdot g^{-1}$)	$(S_1+S_2)/$ ($mg \cdot g^{-1}$)
泥灰岩段	1.66	0.0760	0.322	6.00
弹簧段	0.90	0.0090	0.035	0.69

GX29A井位于三河次凹中部,根据含油岩心分析化验资料(表3),E₁f₄烃源岩TOC含量较高,为2.45%~2.82%,平均2.67%;氯仿沥青“A”含量为

0.184 2% ~ 0.230 0%, 平均 0.211 0%; $S_1 + S_2$ 为 12.89 ~ 15.96 mg/g, 平均 14.63 mg/g, 以上指标均达到好 - 很好烃源岩的标准。SX13 井靠近石港断裂带, E_{1f_4} 烃源岩 TOC 含量较高, 为 1.3%; 沥青 "A" 含量为 0.168 5%; $S_1 + S_2$ 为 6.22 mg/g, 以上指标均达到好 - 较好烃源岩的标准。C3 井位于三河次凹西侧斜坡上, 取心样品为 E_{1f_4} 下部弹簧段, 烃源岩 TOC 含量相对较低, 为 0.22% ~ 0.99%, 平均 0.69%, 除一个样品外其余样品介于 0.5% ~ 1.0%, 为中等烃源岩; 沥青 "A" 含量为 0.006 2% ~ 0.015 3%, 平均 0.010 0%, 未达到好烃源岩的标准; $S_1 + S_2$ 为 0.10 ~ 1.61 mg/g, 平均 0.86 mg/g, 为较差烃源岩。

表 3 E_{1f_4} 烃源岩有机质丰度统计

井号	层位	井深 /m	TOC /%	氯仿沥青 "A" 含量/%	$(S_1 + S_2)$ /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
GX29A	E_{1f_4} 泥灰 岩段	3 090. 20	2.45	0.184 2	12.89
		3 091. 20	2.82	0.218 8	15.96
		3 092. 00	2.75	0.230 0	15.04
		平均	2.67	0.211 0	14.63
SX13	E_{1f_4} 泥灰 岩段	2 663. 15	1.30	0.168 5	6.22
		1 556. 35	0.22	0.006 2	0.10
		1 563. 85	0.99	0.015 3	1.61
		1 568. 20	0.86	0.008 4	0.87
		平均	0.69	0.010 0	0.86

综上所述, 与金湖凹陷 E_{1f_4} 泥灰岩段烃源岩平均丰度指标相比, 三河次凹主体部位的 E_{1f_4} 泥灰岩段烃源岩指标更好。

2.2 有机质成熟度

镜质体反射率 (R_0) 为反映有机质成熟度最灵敏的指标, 一般可分为下列几个阶段: $R_0 < 0.5\%$ 为未熟阶段, R_0 在 0.5% ~ 1.3% 为成熟阶段; R_0 在 1.3% ~ 2.0% 为高成熟阶段; $R_0 > 2.0\%$ 为过成熟阶段。通常, 对于未熟 - 低熟油气演化阶段 R_0 一般处于 0.2% ~ 0.7% 的范围。一般将 $R_0 = 0.5\%$ 对应的埋深作为烃源岩大量生烃门限深度, 将 $R_0 = 0.65\%$ 所对应的深度作为大量排烃门限深度^[8]。

通过对金湖凹陷 E_{1f_4} 烃源岩镜质体反射率进行统计(表 4)可见: 烃源岩样品实测的镜质体数据较少。三河次凹 E_{1f_4} 烃源岩 R_0 均小于 0.7%, 处于低熟阶段。而最新钻探取样分析的 GX29A 井, R_0

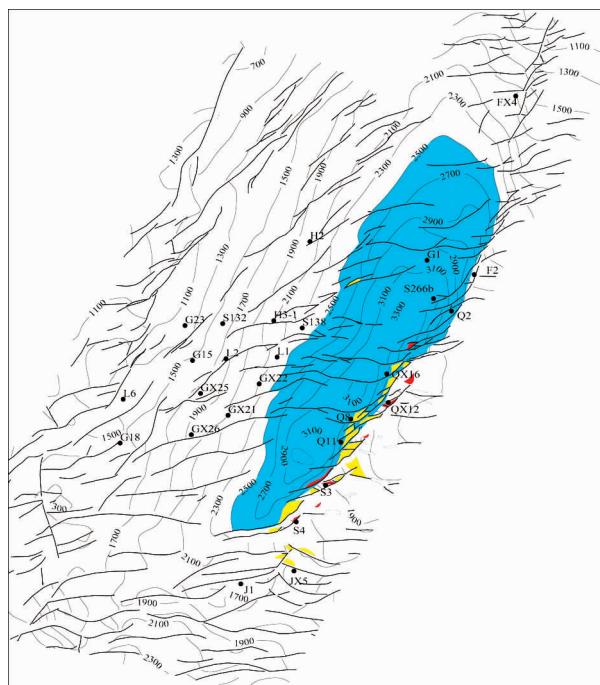
均为 0.65%, 同样表现出低熟的特征。

表 4 三河次凹 E_{1f_4} 烃源岩镜质体反射率

井号	岩性	取心垂深/m	R_0 /%
SX13	灰黑色泥岩	2 603	0.69
L2	灰黑色泥岩	1 967	0.60
L1	灰黑色泥岩	2 645	0.67
HX4	灰黑色泥岩	1 898	0.47
GX29A	深灰色泥岩	2 811	0.65
C3	黑色泥岩	1 570	0.49

前文提及三河次凹 E_{2d} 油藏中 E_{1f_4} 来源油表现出 " $n\text{C}_{23}$ 尖顶特征", 且原生甾烷呈 V 字型分布的样品, 除了 SX13 井外, SM 值均小于 0.3(表 1), 侧面证实了 E_{1f_4} 来源油成熟度不高。

从三河次凹 E_{1f_4} 生油岩 R_0 与垂深拟合关系来看, E_{1f_4} 烃源排烃门限 ($R_0 = 0.65\%$) 深度约为 2 500 m。按照此深度在构造图上确定的烃源岩分布范围如图 6 中蓝色范围。从三河次凹总体来看, $R_0 > 0.65\%$ 的范围并不大, 局限在 S138 井 - L1 井以东的深凹部位, 其余大部分地区 E_{1f_4} 烃源岩没有达到排烃门限。由于戴南组油气藏属于 "它源型" 油藏, 必须依靠大断层沟通下伏烃源岩供烃, 因此烃源岩的分布范围直接控制着 E_{2d} 油气藏平面上的分布, E_{2d} 隐蔽油气藏应主要以深凹和内斜坡带为主。



4 结论与认识

(1) 中国页岩气选区评价对象具有多相、多层次的特点;评价层次分为远景区、有利区、核心区、工程甜点区四个层次。

(2) 中国页岩气选区评价参数及标准不统一,远景区侧重于物质基础(生气能力)等参数;有利区侧重于页岩气富集主控因素(储气能力)参数;核心区、工程甜点区侧重于地应力、压力系数、脆性指数、天然裂缝等可采性参数。页岩气核心区、工程甜点区选区评价参考标准的提出可为其它区域页岩气选区评价提供参考。

(3) 页岩气选区评价方法各有优缺,但综合信息叠合法适用性和操作性强,是最为适用的页岩气选区评价方法。

参考文献:

- [1] 邹才能.非常规油气地质[M].北京:科学出版社,2013:130-131.
- [2] 蒲泊伶,蒋有录,王毅,等.四川盆地下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.
- [3] 王丽波,久凯,曾维特,等.上扬子黔北地区下寒武统海相黑色泥页岩特征及页岩气远景区评价[J].岩石学报,2013,29(9):3263-3278.
- [4] 张金川,林腊梅,李玉喜,等.页岩气资源评价方法与技术:概率体积法[J].地学前缘,2012,19(2):184-191.
- [5] 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.
- [6] 肖飞,刘洛夫,高小跃,等.库车坳陷中侏罗统页岩气地质特征[J].天然气工业,2018,38(2):43-50.

(上接第31页)

3 结论

(1) 油源对比分析表明,三河次凹 E_2d 油藏的油气主要来源于 E_1f_4 烃源岩;而石港断裂带由于断层发育,纵向沟通能力强,该区 E_2d 油藏既有 E_1f_4 烃源的油,又有 E_1f_2 烃源的油,是较为有利的勘探区带。

(2) 三河次凹 E_1f_4 烃源岩 R_o 大于 0.65% 的范围局限在深凹部位。而 E_2d 油藏属于“它源型”油藏,必须依靠断层沟通下伏烃源岩供烃,因此,三河次凹 E_2d 油藏勘探区带主要以近源深凹和内斜坡带为主。

参考文献:

- [1] 刘世丽,徐焕友,李翔.金湖凹陷戴南组成藏主控因素及成藏

- 征及有利区预测[J].天然气地球科学,2014,25(10):1668-1677.
- [7] 谢国梁,刘水根,沈玉林,等.赣东北荷塘组页岩气成藏条件及有利区评价[J].中国矿业大学学报,2015,44(4):704-713.
- [8] 梁兴,叶熙,张介辉,等.滇黔北坳陷威信凹陷页岩气成藏条件分析与有利区优选[J].石油勘探与开发,2011,31(2):693-699.
- [9] 黄金亮,邹才能,李建忠,等.川南志留系龙马溪组页岩气形成条件与有利区分析[J].煤炭学报,2009,38(6):782-787.
- [10] 刘乃震,王国勇.四川盆地威远区块页岩气甜点厘定与精准导向钻井[J].石油勘探与开发,2016,43(6):978-985.
- [11] 廖东良,路保平.页岩气工程甜点评价方法—以四川盆地焦石坝页岩气田为例[J].天然气工业,2018,38(2):43-50.
- [12] 陈胜,赵文智,欧阳永林,等.利用地球物理综合预测方法识别页岩气储层甜点—以四川盆地长宁区块下志留统龙马溪组为例[J].天然气工业,2017,37(5):20-30.
- [13] 曾庆才,陈胜,贺佩,等.四川盆地威远龙马溪组页岩气甜点区地震定量预测[J].石油勘探与开发,2018,45(3):406-414.
- [14] 张鉴,王兰生,杨跃明,等.四川盆地海相页岩气选区评价方法建立及应用[J].天然气地球科学,2016,27(3):433-441.
- [15] 李广武,杨胜来,王珍珍,等.基于模糊优化分析法的页岩气开发选区模型[J].煤炭学报,2013,38(2):184-191.
- [16] 赵瞻,李嵘,冯伟明,等.滇黔北地区五峰组—龙马溪组页岩气富集条件及有利区预测[J].天然气工业,2017,37(12):26-34.
- [17] 张虎.四川盆地威远地区龙马溪组页岩气产能建设目标优选[D].成都:西南石油大学,2015.
- [18] 郭旭升.涪陵页岩气田焦石坝区块富集机理与勘探技术[M].北京:科学出版社,2014:89-90.

(编辑 杨芝文)

模式研究[J].小型油气藏,2007,12(3):1-5,76.

- [2] 卢鸿,冯小杰.油源对比常规方法的使用误区[J].地球科学与环境学报,2000,22(2):56-59.
- [3] 陈安定.苏北盆地油源判别指标研究[J].石油实验地质,2007,29(4):397-401.
- [4] 王雨薇,史盼盼.苏北盆地 W 凹陷阜四段烃源岩研究[J].当代化工,2014,43(11):2437-2440+2456.
- [5] 龚永杰,蒋有录,何胜.金湖凹陷东部油源对比研究[J].断块油气田,2008,15(2):16-19.
- [6] 李素梅,庞雄奇,金之钧,等.苏北金湖凹陷混合原油的地质地球化学特征[J].石油大学学报(自然科学版),2002,26(1):11-15+8.
- [7] 彼得斯 KE,莫尔多万 JM 著.姜乃煌,张水昌,林永汉,等译.生物标记化合物指南:古代沉积物和石油中分子化石的解释[M].北京:石油工业出版社,1995:168-170.
- [8] 刚文哲,林壬子.应用油气地球化学[M].北京:石油工业出版社,2011:198.

(编辑 杨芝文)