

苏北盆地古近系阜宁组二段 富有机质页岩特征与沉积环境

段宏亮, 刘世丽, 付 茜

(中国石化 江苏油田分公司, 江苏 扬州 225009)

摘要: 苏北盆地古近系阜宁组二段(E_1f_2)发育两套富有机质页岩, 分布广泛, 油气显示丰富, 页岩油形成条件有利。通过对大量岩心及薄片的观察, 结合系统的有机地球化学、全岩 X-衍射及微量元素测试资料, 研究了苏北盆地 E_1f_2 两套富有机质页岩特征及沉积环境。苏北盆地 E_1f_2 两套富有机质页岩特征截然不同, 其中第一页岩层($E_1f_2^{sh1}$)以深灰色块状含灰泥岩和硅质泥岩为主, 微显层理; 页岩有机碳含量平均介于 2.21%~3.41%, 有机质类型以 I 型为主。第二页岩层($E_1f_2^{sh2}$)为灰黑色油页岩与纹层状含云、含灰泥岩、泥云岩、泥灰岩互层, 纹层发育, 有机碳含量平均介于 2.02%~2.99%, 有机质类型以 I 型为主。苏北盆地 E_1f_2 沉积古气候经历了自半干热、还原、半咸水环境向干热、强还原、盐湖环境, 再向温湿、氧化、淡水环境演化的过程; 富有机质页岩形成于强还原、干热、咸水环境向氧化、温湿、正常淡水环境过渡的最大湖泛面附近, 其中 $E_1f_2^{sh2}$ 形成于强还原、干热的咸水—盐湖环境, $E_1f_2^{sh1}$ 形成于强还原、半潮湿—半干热的半咸水环境。沉积环境演化, 造就了 E_1f_2 泥页岩层间及富有机质页岩内部岩性、电性及烃源岩品质的差异。

关键词: 富有机质页岩; 沉积环境; 页岩油; 阜宁组二段; 古近系; 苏北盆地

中图分类号: TE122.23

文献标识码: A

Characteristics and sedimentary environment of organic-rich shale in the second member of Paleogene Funing Formation, Subei Basin

DUAN Hongliang, LIU Shili, FU Qian

(SINOPEC Jiangsu Oilfield Branch Company, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: Two sets of organic-rich shales are developed in the second member of Funing Formation (E_1f_2) in the Subei Basin, which are $E_1f_2^{sh1}$ and $E_1f_2^{sh2}$. They are widely distributed, with rich shows and favorable shale oil conditions. Based on core and thin section observations, and combined with systematic organic geochemistry, X-ray diffraction and trace element analyses, the characteristics and sedimentary environment of the organic-rich shales were studied. The characteristics of the $E_1f_2^{sh1}$ and $E_1f_2^{sh2}$ are totally different. The $E_1f_2^{sh1}$ mainly consists of dark gray blocky limestones and siliceous mudstones, with slight bedding, 2.21%–3.41% organic carbon content, and type I organic matter. The $E_1f_2^{sh2}$ mainly consists of dark oil shales and dolomitic mudstones, calcite mudstones, muddy dolomites and muddy limestones, with laminar bedding, 2.02%–2.99% organic carbon content, and type I organic matter. The sedimentary palaeo climate of E_1f_2 has experienced semi-arid, reducing, brackish water, to dry, strongly reducing, salt lake, and to warm humid, oxic, freshwater in the Subei Basin. The organic-rich shales were formed in the transition formations near the maximum flooding surface, between strongly reducing, dry and hot, saltwater environments and oxic, humid, normal water environment. The $E_1f_2^{sh2}$ was formed in a strongly reducing, dry and hot, salt lake environment, while the $E_1f_2^{sh1}$ was deposited in a strongly reducing, damp to semi-arid and brackish water environment. Sedimentary environment evolution resulted in the differences of lithology, electrical properties, and quality of hydrocarbon source rocks, occurring in the muddy shale interlayer and internal organic-rich shale.

Key words: organic-rich shale; sedimentary environment; shale oil; second member of Funing Formation; Paleogene; Subei Basin

收稿日期: 2020-03-13; 修订日期: 2020-05-29。

作者简介: 段宏亮 (1977—), 男, 高级工程师, 从事油气勘探研究。E-mail: duanhl.jsyt@sinopec.com。

基金项目: 中国石化科技项目 (P18060-4) 和国家科技重大专项 (2017ZX05049001-005) 资助。

富有机质页岩是指有机碳含量大于2.0%的暗色页岩^[1],其不仅可以作为生烃层和盖层,而且可以作为储集层,聚集具有开采价值的页岩油气^[2-8],是油气勘探的新领域。

苏北盆地阜宁组(E_1f)发育阜四段(E_1f_4)和阜二段(E_1f_2)两套分布广泛且稳定的泥页岩层系,其中共有227口井次见油气显示,有9口井试获油流,XX38井常规测试日产油14.4 m³,累产油1 069 t;TX96井压裂测试日产油2.3 t,累产油2 564 t(目前日产油0.7 t),展示了良好的页岩油勘探前景^[9-11]。目前对于上述泥页岩层系特征、非均质性以及富有机质页岩成因等研究认识程度较低,难以有效指导页岩油选区评价及富集机理研究。本文以阜二段为研究对象,在大量岩心及薄片观察的基础上,结合系统的有机地球化学、全岩X-衍射及微量元素等采样与测试,研究了富有机质页岩的地质、地球化学特征,分析了其沉积环境,以期为苏北盆地 E_1f_2 页岩油评价及勘探提供依据。

1 地质概况

苏北盆地属苏北—南黄海盆地的陆上部分,是晚白垩世发育起来的陆相中、新生代沉积盆地^[12-13]。盆地北以嘉山—响水断裂与鲁苏隆起为界,西以郯庐断裂带与张八岭隆起为界,南邻

苏南隆起,东与南黄海盆地相接(图1),面积约35 000 km²^[14]。受盆地构造演化和沉积体系控制,盆内晚白垩世—古新世拗陷沉积阶段广泛发育了泰二段(K_2t_2)、 E_1f_2 和 E_1f_4 三套半深湖—深湖相暗色泥页岩层系,其中 E_1f_2 页岩厚度大、分布广泛,页岩油形成条件最有利^[9-11]。

苏北盆地 E_1f_2 总体属半深湖—深湖相沉积,岩性主要以泥页岩为主,局部层段夹油页岩、纹层状碳酸盐岩,在高邮、金湖、海安、溱潼、盐城、阜宁及洪泽凹陷均有分布(图1)。其中高邮凹陷厚度最大,深凹带厚度可达350余m;盐城凹陷厚度相对较薄,多大于100 m;西部金湖凹陷厚度小于100 m。依据岩石相类型及电性特征,将 E_1f_2 自上而下依次划分为“泥脖子”和 $E_1f_2^{\text{页}1}$ 、 $E_1f_2^{\text{页}2}$ 、 $E_1f_2^{\text{页}3}$ 、 $E_1f_2^{\text{页}4}$ 、 $E_1f_2^{\text{页}5}$ 等1个泥岩层和5个页岩层^[9](图1)。其中 $E_1f_2^{\text{页}1}$ 平均有机碳含量最高,其次为 $E_1f_2^{\text{页}2}$, $E_1f_2^{\text{页}3}$ 次之, $E_1f_2^{\text{页}4}$ 和 $E_1f_2^{\text{页}5}$ 最差(表1),富有机质页岩纵向上主要分布于 $E_1f_2^{\text{页}1}$ 和 $E_1f_2^{\text{页}2}$,是页岩油勘探和评价的主要目的层。

2 富有机质页岩特征

2.1 $E_1f_2^{\text{页}1}$ 特征

$E_1f_2^{\text{页}1}$ 厚27~31m,总体以深灰色微显层理块

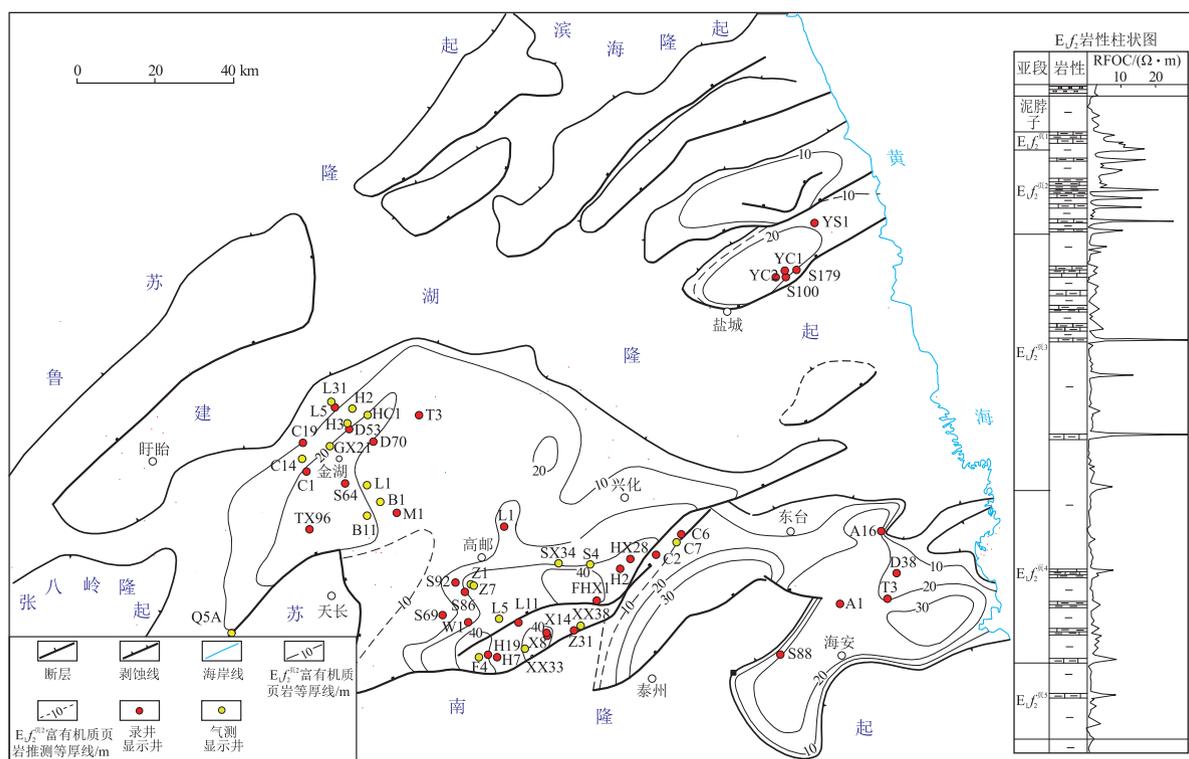


图1 苏北盆地阜宁组二段富有机质页岩油气显示井分布

Fig.1 Distribution of wells with oil and gas shows in organic-rich shales, second member of Funing Formation, Subei Basin

表 1 苏北盆地阜宁组二段页岩关键参数

Table 1 Key parameters for shales in the second member of Funing Formation, Subei Basin

地层	岩性	有机地球化学参数			关键矿物含量/%			沉积环境参数					
		w(TOC)/ %	沥青“A”/ %	S ₁ / (mg·g ⁻¹)	铁白云石	黄铁矿	石膏	Sr/Cu		Sr/Ba		V/Cr	
泥脖子	灰色块状泥岩	1.50	0.03	0.02	1.27	1.25	0.02	10.12	19.74	0.51	1.01	1.41	1.77
E ₁ f ₂ ^{真1}	深灰色层—块状含灰泥岩	2.25	0.19	0.50	1.36	1.51	0.03	7.59	18.35	0.62	0.83	1.06	1.59
E ₁ f ₂ ^{真2}	灰黑色油页岩与纹层状含云/含灰泥岩、泥云岩、泥灰岩	2.02	0.22	0.50	8.13	0.89	1.76	44.72	100.84	2.13	3.49	1.61	2.86
E ₁ f ₂ ^{真3}	灰黑色层—块状云灰质泥岩夹泥灰岩	1.29	0.16	0.32	17.07	1.42	0.86	26.63	35.46	2.31	3.17	1.57	2.20
E ₁ f ₂ ^{真4}	灰黑色层—块状含云泥岩、泥云岩	1.00	0.05	0.25	7.57	1.15	0.41	25.55		2.21		1.48	
E ₁ f ₂ ^{真5}	灰黑色层—块状云灰质泥岩、泥云岩	0.96	0.10	0.16	8.71	1.61	0.88	25.38	14.39	2.02	1.90	1.63	1.62
资料来源	高邮凹陷	高邮凹陷			高邮凹陷			高邮凹陷	金湖凹陷	高邮凹陷	金湖凹陷	高邮凹陷	金湖凹陷

状含灰泥岩和硅质泥岩为主(图 2a,c),发育生物介壳(图 2b)。盐城凹陷 E₁f₂^{真1}为块状硅质泥岩、灰岩,灰质含量可达 54%,有机碳含量平均 3.41%,热解 S₁平均为 0.49 mg/g,氯仿沥青“A”平均为 0.15%;海安凹陷为灰色块状含灰泥岩,有机碳含

量平均 2.21%,热解 S₁平均为 0.16 mg/g,氯仿沥青“A”平均为 0.16%;高邮凹陷为灰色薄层状含灰泥岩,灰质含量减少,仅为 23.50%,有机碳含量平均 2.25%,热解 S₁平均为 0.50 mg/g,氯仿沥青“A”平均为 0.19%;金湖凹陷为块状灰质泥岩,灰质含

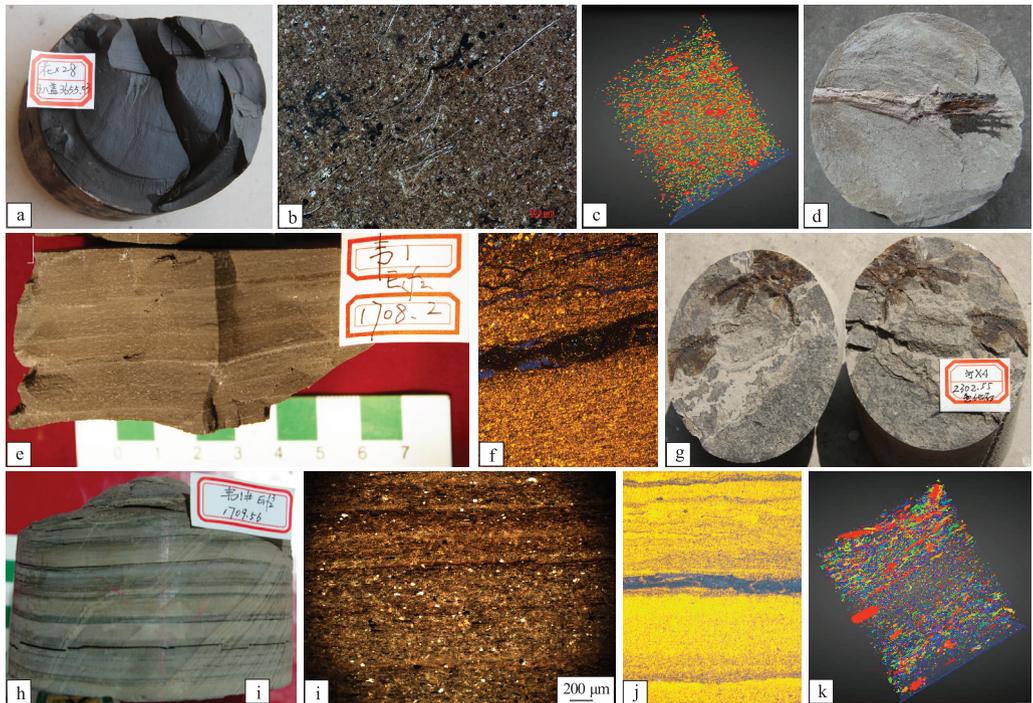


图 2 苏北盆地 E₁f₂富有机质页岩典型照片

a.HX28 井 E₁f₂^{真1}岩心照片;b.HX28 井 E₁f₂^{真1}岩心微观照片,见生物介壳,100×1;c.HX28 井 E₁f₂^{真1},CT-扫描照片见层理;d.XYX1 井 E₁f₂^{真2}高阻纹层状云岩岩心中鸟类肢化石;e.W1 井 E₁f₂^{真2}低阻纹层状含云泥岩岩心照片;f.W1 井 E₁f₂^{真2}低阻纹层状含云泥岩,阴极发光照片中有有机质纹层与含云纹层,50×;g.HX4 井 E₁f₂^{真2}高阻纹层状云岩岩心中鱼类化石;h.W1 井 E₁f₂^{真2}高阻纹层状云岩岩心照片;i.W1 井 E₁f₂^{真2}高阻纹层状云岩薄片照片;j.W1 井 E₁f₂^{真2}高阻纹层状云岩,阴极发光照片中有有机质纹层与铁白云石纹层,50×;k.HX4 井 E₁f₂^{真2}高阻纹层状云岩,CT-扫描照片见层间缝

Fig.2 Photographs of organic-rich shales in the second member of Funing Formation, Subei Basin

量平均为 32.1%, 石英含量 33.10%, 有机碳含量平均 3.21%, 热解 S_1 平均为 0.57 mg/g, 氯仿沥青“ A ”平均为 0.32%。

2.2 $E_{1f_2}^{页2}$ 特征

$E_{1f_2}^{页2}$ 厚 12~35 m, 总体为一套灰黑色油页岩与纹层状含云/含灰泥岩、泥云岩、泥灰岩互层, 层面见大量介形虫及鱼化石(图 2d, g), 有机碳含量普遍较高, 各凹陷平均值介于 2.02%~2.99%, 其中高邮凹陷热解 S_1 平均为 0.50 mg/g, 氯仿沥青“ A ”平均为 0.22%; 有机质类型以 I 型为主(表 1)。其中油页岩、纹层状泥云岩和泥灰岩段电阻率较高, 主要对应于曲线尖峰部位(图 1), 其碳酸盐含量高, 有机碳含量一般大于 2.0%(表 2), 黏土矿物含量相对较低, 岩心保存完整。该段纹层发育, 主要由富含碳酸盐的浅色纹层和富含有机质的暗色纹层组成。浅色纹层矿物组分主要以铁白云石或方解石为主(表 2), 厚度和发育程度均较富含有机质的暗色纹层大(图 2h-j), 有机碳含量一般 1.0%~2.0%; 富含有机质的暗色纹层组分主要以石英和黏土为主, 有机碳含量可达 7.41%(表 2)。此外, 在 XYX1 井、A1 井和 HX4 井尖峰部位岩心中见鱼化石(图 2g), 在 XYX1 井岩心见鸟类前肢化石(图

2d), 经中国科学院古脊椎动物与古人类研究所张江永研究员鉴定, 鱼化石多属真骨鱼类和鲈类, XYX1 井岩心所见鸟类前肢化石可能为已经灭绝的大型翱翔海鸟。

含云、含灰泥岩电阻率低, 曲线上呈低谷状(图 1); 碳酸盐含量相对较低, 黏土矿物含量高(可达 50%以上); 页理发育, 但主要以富含黏土和石英的暗色纹层为主, 富含碳酸盐的浅色纹层发育程度及厚度均较少、较薄(图 2e), 且浅色纹层碳酸盐含量相对较低(图 2f), 但岩心保存完整性相对较差。页岩有机碳含量一般介于 1.5%~3.0%之间, 总体小于尖峰部位页岩(表 2)。

3 富有机质页岩沉积环境

烃源岩的质量直接受初级生产力、有机质保存条件以及沉积物沉积速率的控制, 而这些控制因素又最终受构造演化、气候旋回和物源供给的影响。构造和古气候通过控制可容纳空间的形成消亡、水及沉积物的供给影响着湖盆的发育演化, 同时也影响着湖泊水体的物理、化学性质以及湖泊的生物发育, 最终又通过影响保存条件、古生产力和沉积物的堆积速率控制着烃源岩的发育特征^[15]。

表 2 苏北盆地 $E_{1f_2}^{页2}$ 富有机质页岩特征

Table 2 Characteristics of organic-rich $E_{1f_2}^{shale 2}$, Subei Basin

%

井号	井段/m	岩性	w(TOC)	石英	长石	方解石	铁白云石	黄铁矿	黏土总量	备注
	2 302.55	纹层状云岩	2.95	25.8		3.1	67.3		3.8	
	2 302.62	纹层状云岩	2.73	22.3	2.5	6.9	59.3		9.0	
	2 302.75	含灰页岩	3.37	29.8	6.7	21.7	0.0		41.8	高阻段
	2 302.90	页岩	1.96	27.2	4.6	2.6	1.9	5.3	58.4	
	2 303.00	页岩	1.72	21.1	4.4	4.3	3.0	7.3	59.9	
	2 303.30	灰质页岩	1.41	16.5	2.0	45.1	11.9	6.9	16.8	
	2 303.40	页岩	1.52	20.5	6.7	9.7	7.9	4.1	51.5	
	2 303.90	含云含灰页岩	4.24	16.8	4.2	20.1	15.9	4.1	38.9	低阻段
HX4	2 304.20	页岩	2.53	20.8	12.8	3.7	11.1		51.6	
	2 304.60	页岩	2.29	18.1	6.0	2.2	12.8	6.2	54.7	
	2 304.80	含云页岩	2.36	14.2	6.5	7.0	21.3		52	
	2 305.65	含云页岩	3.03	20.7	7.9	7.8	18.9		44.7	高阻段
	2 306.10	纹层状云岩	2.82	10.8	1.0	4.0	58.3		25.9	
	2 306.50	页岩	3.79	26.1	11.9	0.0	10.5		51.5	
	2 306.70	含云页岩	1.99	21.1	7.7	0.0	20.3		50.9	低阻段
	2 307.95	含云页岩	1.41	16.2	4.6	6.8	19.8		52.6	
	2 308.90	灰质页岩	3.72	30.2	5.7	27.3	6.3		30.3	高阻段
W1	1 709.56	纹层状云岩	3.25	13.5	3.8	0.4	41.5	0.5	37.9	暗色纹层
	1 709.56	纹层状云岩	1.43	14.9	2.1		56.7	4.4	20.5	浅色纹层
	1 690.78	纹层状云岩	1.74	7.7			79.2		13.1	浅灰绿色纹层
XYX1	1 690.78	纹层状云岩	4.26	12.0	1.2	1.4	73.8		11.6	浅灰白色纹层
	1 690.78	纹层状云岩	7.41	24.6	13.9	3.4	25.1		29.6	黑色纹层

沉积物地球化学参数记录了古环境性质及其演化信息,为研究烃源岩的沉积环境提供了条件,目前已形成了古气候、古生产力、古氧化还原条件、古盐度及古水深等沉积环境的主要判识参数及指标^[15-18]。如利用 Sr/Cu 研究古气候, Sr/Cu 比值介于 1~10 之间指示温湿气候环境,而大于 10 指示干热气候环境;利用 V/(V+Ni) 指示氧化—还原环境;利用 Sr/Ba、B 元素和 B/Ga 指示湖水盐度, Sr/Ba 比值大于 1 为咸水介质, Sr/Ba 比值小于 1 为淡水介质。

3.1 阜宁组沉积环境

苏北盆地高邮凹陷 E_{1f_2} 古气候参数 Sr/Cu 普遍大于 10, 古盐度参数 Sr/Ba 值除“泥脖子”电性层和 $E_{1f_2}^{原1}$ 小于 2 外, 其余页岩层均大于 2; 古氧化—还原参数 V/Cr 值均介于 1~2, 反映高邮凹陷 E_{1f_2} 沉积环境整体属干热、咸水—半咸水的还原环境(表 1)。纵向上, 古气候参数 Sr/Cu 具有自底部 $E_{1f_2}^{原5}$ (高邮凹陷该值为 25.38) 向上部 $E_{1f_2}^{原2}$ 变高(高邮凹陷该值为 44.72), 再向顶部“泥脖子”电性层变低(高邮凹陷该值为 10.12) 的规律; 反映古盐度和古氧化—还原环境的参数也具有相似的纵向变化规律, 古盐度参数 Sr/Ba 值 $E_{1f_2}^{原2}$ — $E_{1f_2}^{原5}$ 均大于 2, 沉积水体为咸水环境, 而 $E_{1f_2}^{原1}$ 和“泥脖子”段 Sr/Ba 值小于 1, 盐度较低(表 1)。反映 E_{1f_2} 沉积古气候经历了自半干热、还原、半咸水环境, 向干热、强还原、盐湖环境, 再向温湿、氧化、淡水环境演化的过程; 这一演化规律与烃源岩有机碳含量, 即烃源岩品质变化规律一致, 反映烃源岩品质受沉积环境影响较大。富有机质页岩主要形成于由强还原、干热、咸水环境, 向氧化、温湿、正常淡水环境过

渡的最大湖泛面附近。

3.2 富有机质页岩沉积环境

苏北盆地 $E_{1f_2}^{原1}$ 和 $E_{1f_2}^{原2}$ 两套富有机质页岩, 以及 $E_{1f_2}^{原2}$ 内部不同电性段, 页岩特征截然不同(表 1), 明显差异的沉积特征, 反映其沉积环境不同。

$E_{1f_2}^{原1}$ 形成于强还原、半潮湿—半干热、半咸水环境, 沉积水体相对较深; $E_{1f_2}^{原2}$ 形成于强还原、干热、咸水—盐湖环境, 沉积水体相对较浅(表 3)。此外, $E_{1f_2}^{原2}$ 富有机质页岩内部不同电性段沉积环境也存在差异, 其中尖峰部位的高阻油页岩、纹层状泥云岩和泥灰岩, 其沉积水体盐度相对较高, 古水深相对较浅; 而低谷部位的低阻含云、含灰泥岩, 其沉积水体盐度相对较低, 以半咸水—咸水环境为主, 古水深相对较深(表 3)。这一沉积环境差异, 造就了 $E_{1f_2}^{原2}$ 富有机质页岩层内部岩性、电性及烃源岩品质差异, 同时也反映古气候对烃源岩品质影响较大。

4 结论

(1) 苏北盆地阜二段发育 $E_{1f_2}^{原1}$ 和 $E_{1f_2}^{原2}$ 两套富有机质页岩。 $E_{1f_2}^{原1}$ 主要以深灰色微显层理块状含灰泥岩和硅质泥岩为主; 有机碳含量平均介于 2.21%~3.41%, 有机质类型以 I 型为主; $E_{1f_2}^{原2}$ 为灰黑色油页岩与纹层状含云/含灰泥岩、泥云岩、泥灰岩互层, 有机碳含量平均介于 2.02%~2.99%, 有机质类型以 I 型为主。

(2) 苏北盆地阜二段沉积古气候经历了自半干热、还原、半咸水环境, 向干热、强还原、盐湖环境, 再向温湿、氧化、淡水环境演化的过程; 富有机质页岩主要形成于由强还原、干热、咸水环境向氧

表 3 苏北盆地 E_{1f_2} 富有机质页岩沉积环境参数
Table 3 Sedimentary environment parameters of organic-rich shales
in the second member of Funing Formation, Subei Basin

层位	地区	古氧化还原环境		古气候 Sr/Cu	古盐度				古水深 Sr/Ca		
		V/Cr	V/(V+Ni)		盐度/%	Sr/Ba	Sr/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	B/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)		B/Ga	
$E_{1f_2}^{原1}$	金湖	1.59	0.68	18.35	15.58	0.83	376.90	84.15	4.17	65.22	
	高邮	1.06	0.63	7.59	30.26	0.62	381.00	107.00	5.61	48.79	
		强还原	强还原	半潮湿— 半干燥	半咸水— 咸水	半咸水	半咸水	咸水— 盐湖	咸水— 盐湖		相对较深
	金湖	2.86	0.83	100.84	30.72	3.49	567.00	78.00	4.76	48.39	
$E_{1f_2}^{原2}$	高邮	1.61	0.67	44.72		2.13		65.64	2.64		
		强还原	强还原	干燥	咸水	咸水—盐湖	咸水	咸水	咸水—盐湖		相对较浅
	高阻段 (金湖)	1.39	0.71	23.89	24.01	1.16	741.00	36.20	2.49	38.27	
		1.48	0.67	11.85	55.30	1.11	576.60	106.10	7.70	35.37	
		强还原	强还原	干燥	咸水—盐水	咸水—盐湖	咸水	盐水	咸水—盐水		相对较浅
低阻段 (金湖)	1.92	0.75	12.80	12.85	0.59	383.80	91.50	3.95	83.18		
	强还原	强还原	干燥	半咸水	淡水	半咸水	咸水	咸水		相对较深	

化、温湿、正常淡水环境过渡的最大湖泛面附近,其中 $E_1f_2^{\text{顶2}}$ 形成于强还原、干热、咸水—盐湖环境, $E_1f_2^{\text{顶1}}$ 形成于强还原、半潮湿—半干热、半咸水环境。

(3) 沉积环境对苏北盆地阜二段烃源岩品质影响较大,造就了阜二段泥页岩层间及富有机质页岩内部岩性、电性及烃源岩品质的差异。

致谢:中国科学院古脊椎动物与古人类研究所张江永研究员为鱼化石和鸟肢化石的鉴定提供了无私的帮助,在此表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] 邹才能,赵贤正,杜金虎,等.页岩油地质评价方法:GB/T 38718-2020[S].北京:中国标准出版社,2020.
ZOU Caineng, ZHAO Xianzheng, DU Jinhui, et al. Geological evaluating methods for shale oil: GB/T 38718-2020[S]. Beijing: China Standard Press, 2020.
- [2] BOWKER K A. Barnett shale gas production, Fort Worth Basin: issues and discussion[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 523-533.
- [3] SUTTON R P, COX S A, BARREE R D. Shale gas plays: a performance perspective[C]//Tight Gas Completions Conference. San Antonio, Texas, USA: SPE, 2010.
- [4] 王志刚. 涪陵页岩气勘探开发重大突破与启示[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1): 1-6.
WANG Zhigang. Breakthrough of Fuling shale gas exploration and development and its inspiration[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(1): 1-6.
- [5] 杨华,牛小兵,徐黎明,等.鄂尔多斯盆地三叠系长7段页岩油勘探潜力[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(4): 511-520.
YANG Hua, NIU Xiaobing, XU Liming, et al. Exploration potential of shale oil in Chang 7 Member, Upper Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(4): 511-520.
- [6] 孙焕泉. 济阳拗陷页岩油勘探实践与认识[J]. 中国石油勘探, 2017, 22(4): 1-14.
SUN Huanquan. Exploration practice and cognitions of shale oil in Jiyang Depression[J]. China Petroleum Exploration, 2017, 22(4): 1-14.
- [7] 谢军. 长宁—威远国家级页岩气示范区建设实践与成效[J]. 天然气工业, 2018, 38(2): 1-7.
XIE Jun. Practices and achievements of the Changning - Weiyuan shale gas national demonstration project construction[J]. Natural Gas Industry, 2018, 38(2): 1-7.
- [8] 赵贤正,周立宏,蒲秀刚,等. 陆相湖盆页岩层系基本地质特征与页岩油勘探突破:以渤海湾盆地沧东凹陷古近系孔店组二段—亚段为例[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(3): 361-372.
ZHAO Xianzheng, ZHOU Lihong, PU Xiugang, et al. Geological characteristics of shale rock system and shale oil exploration in a lacustrine basin: a case study from the Paleogene 1st sub-member of Kong 2 Member in Cangdong Sag, Bohai Bay Basin, China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(3): 361-372.
- [9] 段宏亮,何禹斌. 高邮凹陷阜四段页岩可压裂性分析[J]. 复

杂油气藏, 2014, 7(1): 1-3.

- DUAN Hongliang, HE Yubin. Analysis on fracability of E_1f_4 shale in Gaoyou Sag[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2014, 7(1): 1-3.
- [10] 刘世丽,段宏亮,章亚,等. 苏北盆地阜二段陆相页岩油气勘探潜力分析[J]. 海洋石油, 2014, 34(3): 27-33.
LIU Shili, DUAN Hongliang, ZHANG Ya, et al. Analysis of oil and gas exploration potential in F2 member continental shale of Subei Basin[J]. Offshore Oil, 2014, 34(3): 27-33.
- [11] 王红伟,段宏亮. 盐城凹陷阜二段页岩油形成条件及富集规律研究[J]. 复杂油气藏, 2016, 9(3): 14-18.
WANG Hongwei, DUAN Hongliang. Formation condition and enrichment rule of shale oil in the second member of Funing Formation in Yancheng Sag[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2016, 9(3): 14-18.
- [12] 邱旭明,刘玉瑞,傅强. 苏北盆地上白垩统一第三系层序地层与沉积演化[M]. 北京:地质出版社, 2006.
QIU Xuming, LIU Yurui, FU Qiang. Stratigraphic sequence and sedimentary evolution of Tertiary and Upper Cretaceous in Subei Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- [13] 刘玉瑞. 苏北后生—同生断陷盆地油气成藏规律研究[J]. 石油实验地质, 2016, 38(6): 721-731.
LIU Yurui. Petroleum accumulation rules in hystero-genetic reconstructive-syngenetic rift basins, North Jiangsu Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(6): 721-731.
- [14] 苏浙皖闽油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷八): 苏浙皖闽油气区[M]. 北京:石油工业出版社, 1992: 215.
Compilation Group of Petroleum Geology in Jiangsu Zhejiang Anhui Fujian Oil and Gas Area. Petroleum geology of China (Vol.8)[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992: 215.
- [15] 林俊峰,郝芳,胡海燕,等. 麻固凹陷沙河街组烃源岩沉积环境与控制因素[J]. 石油学报, 2015, 36(2): 163-173.
LIN Junfeng, HAO Fang, HU Haiyan, et al. Depositional environment and controlling factors of source rock in the Shahejie Formation of Langgu Sag[J]. Acta Petroli Sinica, 2015, 36(2): 163-173.
- [16] 王冠民,任拥军,钟建华,等. 济阳拗陷古近系黑色页岩中纹层状方解石脉的成因探讨[J]. 地质学报, 2005, 79(6): 834-838.
WANG Guanmin, REN Yongjun, ZHONG Jianhua, et al. Genetic analysis on lamellar calcite veins in Paleogene black shale of the Jiyang Depression[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(6): 834-838.
- [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.
TENGER, LIU Wenhui, XU Yongchang, et al. Correlative study on parameters of inorganic geochemistry and hydrocarbon source rocks formative environment[J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(2): 193-200.
- [18] 胡玮,卢宗盛,喻鹏. 陆相盆地古生产力研究现状[J]. 地质科技情报, 2010, 29(6): 15-20.
HU Wei, LU Zongsheng, YU Peng. Current status of paleoproductivity research in continental basins[J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(6): 15-20.