引用格式：臧素华，荆晓明，刘志华，等.金坛盆地始新统阜宁组四段页岩油地质条件[J].油气藏评价与开发，2024，14(3)：425-434.
ZANG Suhua, JING Xiaoming, LIU Zhihua, et al. Geological conditions for shale oil formation in the fourth member of Funing Formation of Eocene series in Jintan Basin[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2024, 14(3): 425-434.
DOI：10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2024.03.012

金坛盆地始新统阜宁组四段页岩油地质条件

臧素华，荆晓明，刘志华，印燕铃
（中国石化华东油气分公司勘探开发研究院，江苏 南京 210000）

摘要：为评价以金坛盆地为代表的苏南新生代残留盆地非常规油气勘探潜力，以金坛盆地J9井钻井、岩心、测井及分析测试资料为基础，开展阜宁组四段岩石沉积特征、有机地球化学特征、矿物组成特征、储层特征等地质条件分析。研究结果表明：金坛盆地阜四段形成于浅湖—半深湖为主的半封闭—封闭咸化沉积环境，具有泥页岩厚度大（深凹带大于250 m）、总有机碳（TOC）含量偏低（平均为1.02%）、热演化成熟度（R_o）中低（介于0.81%～0.85%）的特征，具备一定的成烃物质基础。阜四段泥页岩发育裂缝、孔隙两类储集空间，具备良好的储集性能，同时脆性矿物含量较高，有利于后期的压裂改造。结合已有钻孔油气显示情况，认为苏南地区茅山构造推覆带前排的金坛盆地阜四段具备中低成熟度页岩油勘探潜力。

关键词：金坛盆地；阜宁组四段；页岩油；地质条件；中低成熟度
中图分类号：TE122 **文献标识码**：A

Geological conditions for shale oil formation in the fourth member of Funing Formation of Eocene series in Jintan Basin

ZANG Suhua, JING Xiaoming, LIU Zhihua, YIN Yanling
(*Research Institute of Exploration and Development, Sinopec East China Oil & Gas Company, Nanjing, Jiangsu 210000, China*)

Abstract: This study evaluates the unconventional oil and gas exploration potential of the Cenozoic residual basins in southern Jiangsu, focusing on Jintan Basin. Utilizing a range of data sources, including drilling records, core analyses, logging data, and laboratory tests from Well-J9, we extensively analyzed the geological features of the fourth member of Funing Formation. These analyses encompass rock mineral composition, sedimentary characteristics, organic geochemical properties, and reservoir qualities. Findings indicate that the fourth member of Funing Formation was deposited in a semi-closed to closed saline sedimentary environment, predominantly characterized by shallow to semi-deep lakes. This member is marked by substantial mud shale thickness(exceeding 250 m in deep concave zones), low organic matter abundance(average total organic carbon(TOC) of 1.02%), and a moderate degree of thermal evolution(vitrinite reflectance(R_o) ranging from 0.81% to 0.85%), providing a fundamental basis for shale oil hydrocarbon generation. Additionally, the presence of fractures and porous shale reservoir spaces, coupled with a high content of brittle minerals, suggests favorable conditions for the development of complex fracture networks during subsequent fracturing interventions. Considering the oil and gas shows in existing boreholes, it is posited that the fourth member of Funing Formation, particularly near the Maoshan tectonic push-over zone, holds medium to low maturity shale oil exploration potential in southern Jiangsu.

Keywords: Jintan Basin; the fourth member of Funing Formation; shale oil; geological conditions; low-medium maturity

页岩油是自生自储、源储一体的非常规油气资源，根据热演化成熟度将页岩油划分为中高成熟页岩油与中低成熟页岩油[1-4]。美国海相页岩油勘探开发从21世纪初实现跨越式发展，近年来，美国海相页

收稿日期：2023-05-22。
第一作者简介：臧素华（1985—），男，硕士，副研究员，主要从事油气地质综合研究及勘探部署工作。地址：江苏省南京市建邺区江东中路375号金融城9号楼，邮政编码：210000。E-mail：zangsh.hdsj@sinopec.com
基金项目：中国石化科技部项目"溱潼凹陷油气富集规律及勘探关键技术研究"（P24117）；中国石化科技部项目"苏北盆地页岩油地质工程一体化关键技术研究"（P21112）；中国石化科技部项目"溱潼凹陷低TOC陆相页岩油勘探开发关键技术"（P23190）。

岩油产量以年均超过25%的速度增长，2020年页岩油产量达到7.47×10^8 t，是全球第一大原油生产国，不仅改变美国能源安全供应形势，而且重塑了全球地缘政治格局[5–7]。中国是陆相石油资源大国，近年来在鄂尔多斯盆地、准噶尔盆地、松辽盆地、渤海湾盆地、苏北盆地等相继获得陆相页岩油重大发现[8–16]，展现了良好的发展前景，特别是苏北盆地溱潼凹陷、渤海湾盆地济阳坳陷牛庄洼陷分别在低TOC及中低成熟度的页岩油勘探中取得重大突破[8,13]，突破了传统页岩油选区评价标准认识，对低TOC及中低成熟度页岩油评价具有重要启示意义。其中溱潼凹陷阜二段为咸化湖盆沉积，页岩TOC含量平均为1.32%，但其有机显微组分中壳质组普遍含木栓质体和底栖藻无定型体，生烃转化率高，为低TOC页岩油勘探奠定了基础；而牛庄洼陷勘探实践表明，较高的地温梯度有利于中等成熟度页岩规模排烃，烃源岩成熟度低于0.7%的页岩也可通过压裂获得工业油流。

苏南地区新生代主要发育金坛、南渡、陵口、常州、溧阳多个凹陷，其中金坛盆地新生代地层埋深介于2 000～2 500 m，J9、J15、J16等井在阜宁组四段(下文简称阜四段)泥岩与泥灰岩中见到不同级别的油气显示，表明苏南地区新生代残留盆地具有一定的页岩油勘探潜力。基于金坛盆地直溪桥凹陷22口井钻孔资料，系统开展了阜四段页岩地球化学特征、储集特征等页岩油基础地质条件研究，认为以金坛为代表的苏南新生代残留盆地具备中低成熟页岩油形成基本条件，是页岩油新领域突破的重要方向。

1 区域地质背景

金坛盆地位于扬子准地台的东北部，夹持于北西茅山推覆带和南东上黄—大华隆起带之间，为一走向北东、倾向北西的新生代盆地，是苏南隆起区的次一级构造单元，其东部和南部与上黄—大华隆起相邻，北与陵口盆地和宁镇隆起带相望，西靠茅山推覆带(图1)。通过金坛盆地直溪桥凹陷钻孔中第三纪地层孢粉组合与苏北盆地对比，认为苏南新生代盆地地层沉积序列与苏北盆地相似[10]，盆地内自下而上依次发育上白垩系赤山组，古近系阜宁组、戴南组、三垛组，第四系东台组，普遍缺失新近系盐城组，地层厚度最厚为2 500 m。其中阜四段下部为灰、灰黑色泥灰岩、钙质泥岩夹鲕状泥灰岩，上部为灰白、灰、灰黑色岩盐夹棕褐色含钙芒硝质泥岩、盐质泥岩、钙质泥岩，整体是一套还原条件下浅湖—半深湖相沉积，地层分布受古地貌控制，地层厚度由深凹—斜坡逐渐减薄，深凹带厚度最大超过250 m[17–19]。

2 页岩有机地化特征

选取研究区典型钻孔J9井资料对阜宁组泥页岩进行了系统的有机地化特征分析(图2)，结果表明，金坛盆地阜宁组四段具备一定的生烃条件。

2.1 有机质丰度

金坛地区阜四段在盆地内部分厚度达到100～250 m(图3)，纵向上发育多套黑色泥岩，J9井累计厚度为125 m，单层厚度大于15 m。TOC介于0.07%～3.71%，平均为1.02%；生烃潜量(S_1+S_2)介于0.03～31.40 mg/g，平均值为2.12 mg/g；氢指数(HI)普遍较低，局部层段大于400 mg/g；氯仿沥青“A”介于0.016%～0.309%，平均值为0.131%，根据石油天然气行业标准《烃源岩地球化学评价方法：SY/T 5735—2019》有机质丰度评价指标[20]，总体评价为中等—好烃源岩(表1)，其中阜四段中下部是相对优质层段，发育相对高TOC、S_1+S_2以及氯仿沥青“A”特征。

2.2 有机质类型

J9井5件样品的全岩显微组分分析表明，阜四段

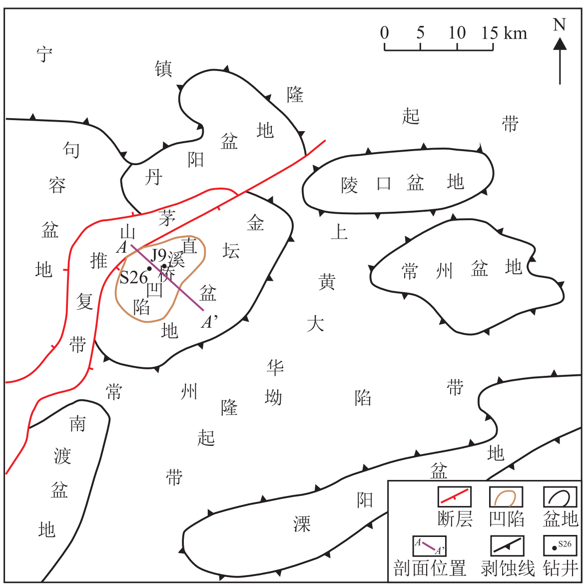


图1 苏南地区构造区划

Fig. 1 Structural zoning of southern Jiangsu region

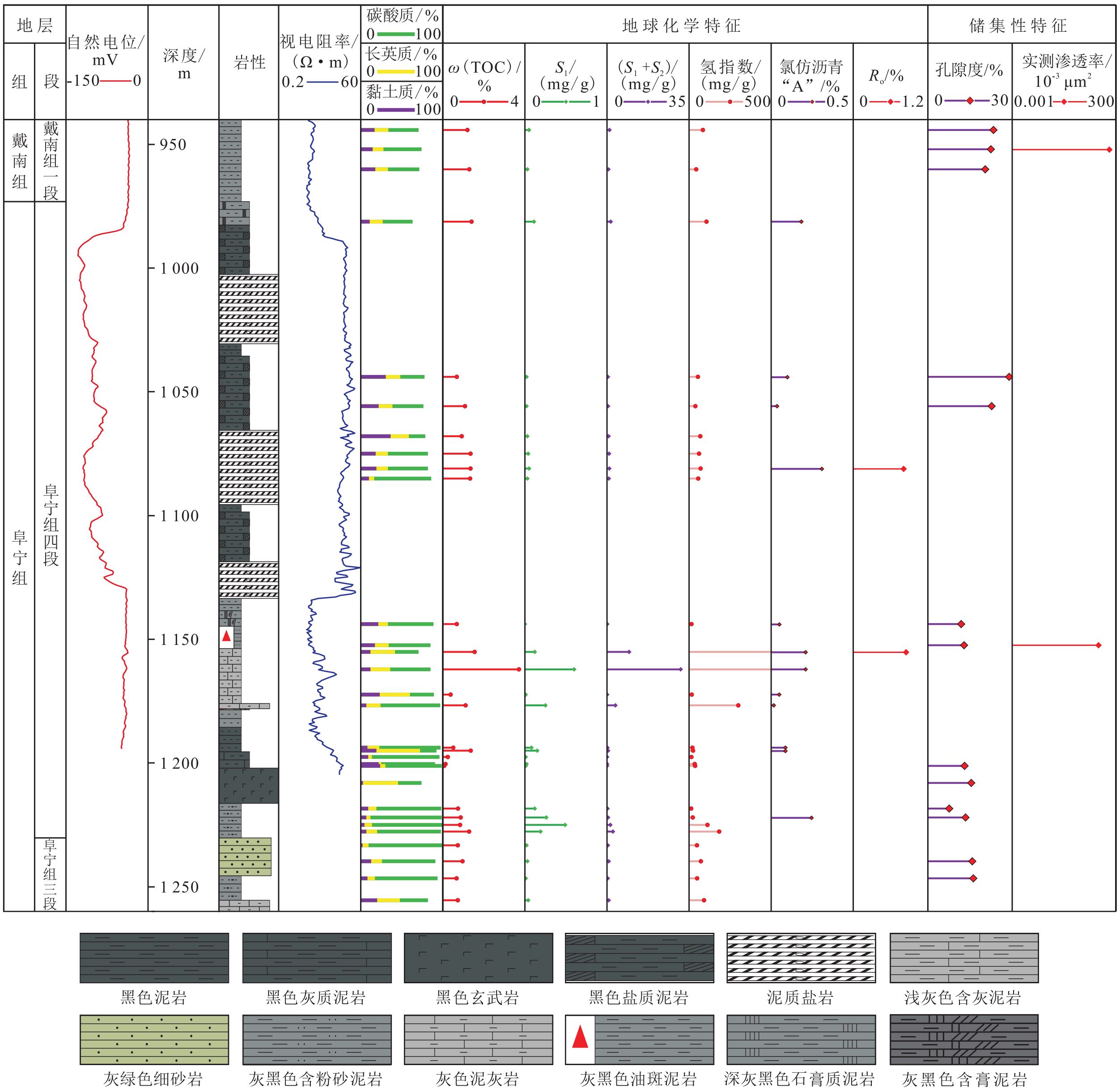


图2 金坛盆地J9井阜宁组四段综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive histogram of the fourth member of Funing Formation in Well-J9, Jintan Basin

纵向烃源岩干酪根有机显微组分相对含量差别不大,腐泥组的相对含量介于66%~77%,以腐泥无定形体为主。壳质组的相对含量介于5%~7%,以腐殖无定形体为主(相对含量介于3%~5%),其次为孢粉体,相对含量介于1%~2%。镜质组的相对含量介于5%~8%,以正常镜质体为主。惰质组的相对含量介于11%~22%,5件样品的丝质体含量大于11%。根据全岩干酪根有机显微组分的相对含量,有机质类型主要为Ⅱ$_1$型(图4、表2)。

岩石热解资料也可有效地区分有机质类型,室内实验分析研究表明,J9井有机质类型Ⅰ型、Ⅱ型和Ⅲ型均有,以Ⅱ型和Ⅲ型为主(图5)。

2.3 有机质成熟度

金坛盆地J9井揭示金坛盆地阜四段埋深952~1 155 m,实测R_o已达到0.81%~0.85%(表1)。与苏北盆地相比,相同成熟度地层埋深更浅,分析认为可能受以下2个要素影响:一是苏南地区新生代曾

经具有一定埋深，三垛组沉积后遭受剥蚀，第四系与三垛组呈不整合接触，盆地内M1井浅层地层速度较高，声波时差450 μs/m，明显高于苏北盆地，预测剥蚀厚度超过700 m；二是苏南地区岩浆活动发育[18]，茅山推覆带以东的盆地内有两条与盆地平行的北北东向玄武岩喷发带，西带长30 km，有团山、大

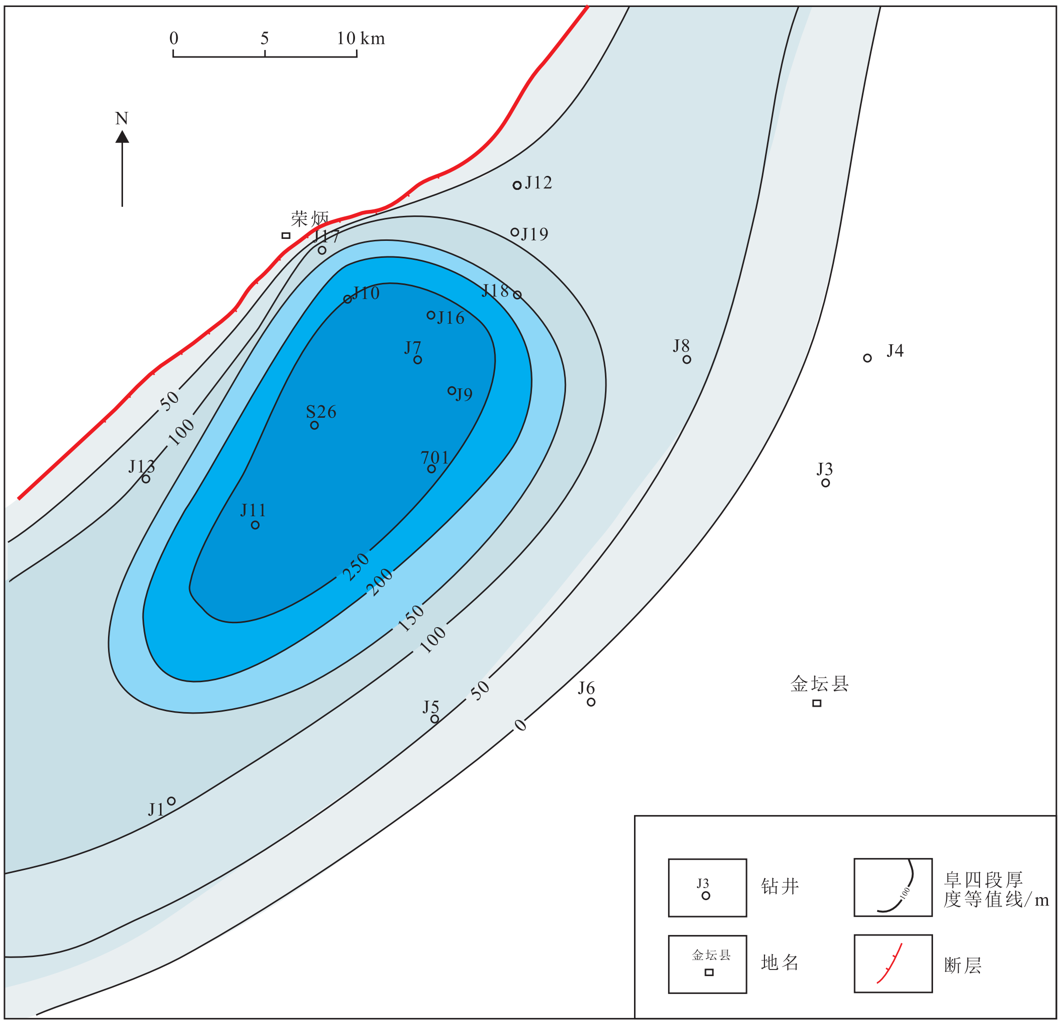
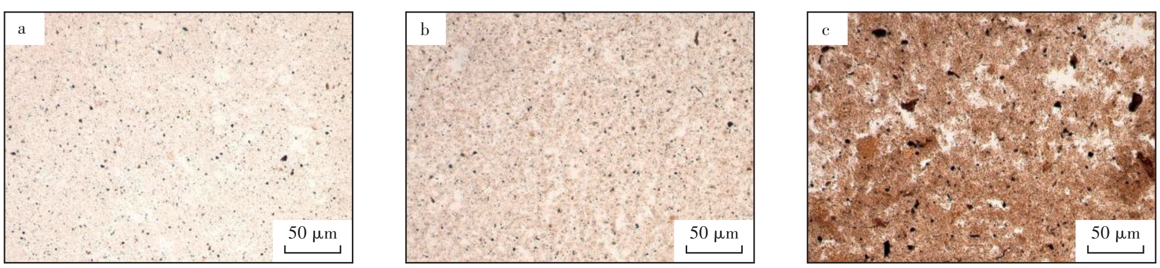


图3 金坛盆地阜宁组四段地层厚度

Fig. 3 Stratigraphic thickness of the fourth member of Funing Formation in Jintan Basin



注：a. J9井，阜四段，1 085.15 m，腐泥无定形体（66%）、腐殖无定形体（5%）；b. J9井，阜四段，1 152.47 m，腐泥无定形体（70%）、腐殖无定形体（3%）；c. J9井，阜四段，1 155.25 m，腐泥无定形体（76%）、腐殖无定形体（3%）。

图4 金坛盆地J9井阜宁组四段泥页岩有机显微组分

Fig. 4 Organic microcomponents of shale in the fourth member of Funing Formation in Well-J9, Jintan Basin

表1 金坛盆地J9井阜宁组四段烃源岩地球化学特征

Table 1 Geochemical characteristics of source rock in the fourth member of Funing Formation in Well–J9, Jintan Basin

井深/m	岩性	ω(TOC)/%	(S_1+S_2)/(mg/g)	氯仿沥青"A"/%	氢指数/(mg/g)	T_{max}/℃	R_o/%
981.30	深灰色泥岩	1.40	1.59	0.184	106.27	429	
1 044.10	深灰色泥岩(含膏盐)	0.68	0.39	0.099	54.09	423	
1 055.85	深灰色泥岩	1.08	0.44	0.036	38.36	426	
1 068.10	深灰色泥岩	0.92	0.65		68.15	429	
1 075.10	深灰色泥岩	1.35	0.86		60.70	430	
1 081.15	深灰色泥岩	1.35	0.99	0.309	70.28	430	0.81
1 137.00	灰色泥岩(含石膏)	1.33	0.77		55.69	433	
1 143.94	灰色泥岩	0.68	0.10	0.050	14.73	435	
1 155.25	灰色泥岩	1.55	9.43	0.210	600.29	443	0.85
1 162.20	灰色泥岩	3.71	31.40	0.210	830.57	447	
1 172.35	灰色泥岩	0.38	0.07	0.049	16.16	434	
1 176.77	灰色泥岩	1.11	3.58	0.016	299.74	443	
1 193.81	灰黑色泥岩	0.51	0.19	0.087	20.03	510	
1 195.10	灰黑色泥岩	1.36	0.48	0.087	24.21	373	
1 197.52	灰黑色泥岩(含古生物)	0.24	0.04		14.20	522	
1 200.45	灰黑色泥岩	0.13	0.06		34.42	502	
1 201.14	灰色泥岩	0.07	0.03		36.99	510	
1 218.50	灰黑色泥岩	0.74	0.22		12.81	524	
1 222.10	灰黑色泥岩	0.87	0.45	0.246	22.57	527	

注:T_{max}为岩石热解最高峰温度,单位℃。

表2 金坛盆地J9井阜宁组四段泥页岩有机显微组分含量统计

Table 2 Organic microcomponents of shale in the fourth member of Funing Formation in Well–J9, Jintan Basin

井深/m	岩性	腐泥组/%			壳质组/%								镜质组/%			惰质组/%	类型指数	干酪根类型
		浮游藻类体	腐泥无定形体	小计	树脂体	木栓质体	角质体	孢粉体	菌孢体	腐殖无定形体	底栖藻无定形体	小计	富氢镜质体	正常镜质体	小计	丝质体		
1 085.15	深灰色泥岩	—	66	66	—	—	—	1	—	5	—	6	—	7	7	21	42.8	$Ⅱ_1$
1 152.47	灰色泥岩	—	70	70	—	—	—	2	—	3	—	5	—	8	8	17	49.5	$Ⅱ_1$
1 155.25	灰色泥岩	—	76	76	—	—	—	2	—	3	—	5	—	6	6	13	61.0	$Ⅱ_1$
1 176.77	灰色泥岩	—	77	77	—	—	—	2	—	5	—	7	—	5	5	11	65.8	$Ⅱ_1$
1 187.00	灰黑色泥岩	—	68	68	—	—	—	2	—	3	—	5	—	5	5	22	44.8	$Ⅱ_1$

山口等火山口,阜宁组、三垛组有2—6层玄武岩单层厚0.25～47.7 m不等,东带分布于盆地轴线直溪桥—上沛一带,长60 km,有花山、锅底山等火山口,阜宁组、三垛组中夹有9层玄武岩,单层厚11～195 m不等,火山活动改变局部地温场,加速烃源岩生烃转化[21-28]。

3 页岩矿物组成特征

苏南阜宁组以浅湖—半深湖为主的半封闭—封闭咸化湖盆沉积,水体较苏北盆地浅,阜宁组地层膏岩盐、碳酸盐矿物含量偏高(图6、表3)。全岩X射线

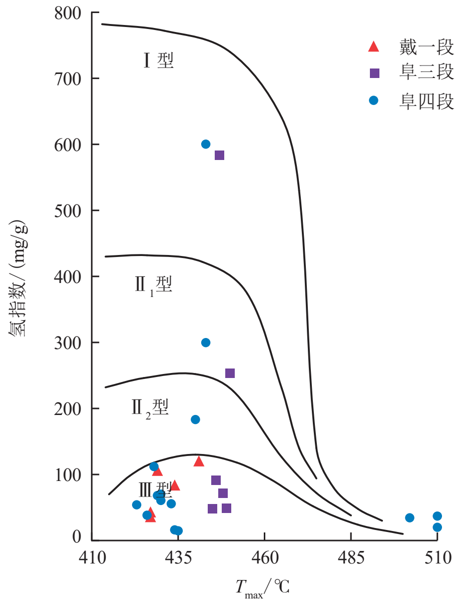


图5　金坛盆地J9井有机质类型

Fig. 5　Organic matter types of Well-J9 in Jintan Basin

衍射分析结果表明阜四段主要由石英、长石、方解石、白云石、黄铁矿、方沸石和黏土矿物组成,脆性矿物含量较高(普遍大于80%),有利于后期的压裂改造。其中,石英、长石含量介于4.6%~86.6%,平均为30.1%;碳酸盐矿物含量介于20.0%~86.6%,平均为52.2%,中下部碳酸盐矿物含量普遍大于60.0%;而黏土矿物含量较低,介于2.8%~36.4%,平均为16.4%(图2、图6)。

4　页岩储层特征

基于金坛盆地典型钻孔岩心、普通薄片、扫描电镜观察,对泥页岩储集空间进行研究,认为阜四段页岩储集空间主要为裂缝和孔隙,具备较好的储集空间。裂缝包含层理缝、构造缝和粒缘缝(图7a、7b、7c、7d),层理缝密度大,岩心观察可达600~1 500条/m;构造缝在薄片及扫描电镜下极其发育,主要由硅质

表3　金坛盆地J9井阜宁组四段全岩X射线衍射分析结果

Table 3　Results of whole rock X-ray diffraction analysis for the fourth member of Funing Formation in Well-J9, Jintan Basin

深度/m	石英/%	钾长石/%	斜长石/%	方解石/%	白云石/%	石盐/%	黄铁矿/%	方沸石/%	滑石/%	石膏/%	硬石膏/%	黏土矿物/%
1 055.75	13.1	1.1	2.7	4.0	33.7	1.2	6.4	13.4		2.6		21.8
1 044.00	13.4	1.5	2.7	4.9	24.7	1.7	3.1	16.5		1.0		30.5
1 068.00	17.0	1.5	3.6	4.4	15.6	1.7	2.2	16.8		0.8		36.4
1 075.00	11.6	1.0	2.4	1.3	47.2	2.1	3.6	11.1		1.3		18.4
1 081.00	10.7	1.8	1.7	1.8	46.5	1.6	3.4	10.9		2.4		19.2
1 085.00	5.1	0.6	0.7	2.2	67.3	1.6	4.6	7.6		0.5		9.8
1 143.80	8.6	1.0	1.9	19.3	36.5	0.9	1.2	8.4		0.7		21.5
1 152.37	11.7	1.0	4.2	22.6	28.4		3.8	10.1		1.0		17.2
1 155.15	25.4	1.3	3.6	20.1	8.2		0.5			4.7	24.5	11.7
1 162.15	19.5	1.3	3.5	38.3	10.6		1.3	9.9		3.9		11.7
1 172.30	28.5	1.6	6.7	17.5	11.6		1.3	8.7		1.1		23.0
1 176.67	11.0	0.7	5.3	64.2	8.4		0.5			2.9		7.0
1 193.75	9.0	0.8	5.1	74.2			0.7			2.2		8.0
1 195.00	33.3	3.7	16.3	18.4	1.6		2.9			4.9		18.9
1 197.50	1.5	0.4	2.6	70.3	12.2				3.7	0.3		9.0
1 200.41	1.2	1.0	1.2	63.5	1.8		0.1		8.4	1.2		21.6
1 201.11	1.7	1.0	3.4	66.8	2.0		0.2			1.1		23.8
1 208.00	1.6	19.2	22.0	5.1	23.6		0.3	25.4				2.8
1 218.46	8.7	0.9		76.6	2.6		1.0			0.9		9.3
1 222.06	0.6	0.9	3.5	83.9	2.7		0.5			0.9		7.0

半充填-全充填,见栉状排列。孔隙类型主要包括粒间孔、黏土矿物晶间孔及少量有机孔(图7d、7e、7f),其中粒间孔和黏土矿物晶间孔为主要储集空间。

阜四段泥页岩具备较好的储集性能(图2),实测氦气孔隙度介于7.6%～28.9%,平均为15.7%,因微裂缝发育,采用常规设备测试渗透率介于(3.87～135.56)×10^{-3} μm^2,因此,该套泥页岩为中低孔、中低渗储层,储集性能优于苏北盆地阜二段页岩油储层[3]。

5 页岩油地质综合评价

金坛盆地有22口钻孔资料钻遇新生代地层,12口老井在阜宁组二段、三段、四段,戴南组和三垛组各地层段均有不同程度显示,其中J9井、J15井、J16井、J18井、J19井等在阜四段膏岩层之下油气显示活跃[10],揭示了苏南地区茅山构造推覆带前排的金坛盆地是中低成熟度陆相页岩油勘探的潜在领域。苏南地区新生代总体为封闭湖盆沉积,陆源碎屑注入较少,盆地中心部位戴一段、阜三段以砂质泥岩、泥灰岩为主(图8),厚度介于150～200 m,阜四段泥页岩具有良好的顶底板条件;金坛盆地受北部荣炳—阳山断裂、南部迪庄—河口断裂控制,盆地中心构造稳定,地层埋深相对较深,且不发育深大断裂,形成相对封闭块,因此,具备较好的保存条件(图9)。结合国内外目前页岩油勘探开发实践、最新认识及评价标准,综合金坛盆地阜四段泥页岩沉积特征、有机地球化学特征、储集特征、保存条件,认为以金坛盆地为代表的苏南地区残留中新生代盆地具有"TOC和热演化程度较低、脆性矿物含量高、储层发育"的特征,盆地中心埋深适中、保存条件好的部位是页岩油勘探的重点区带。

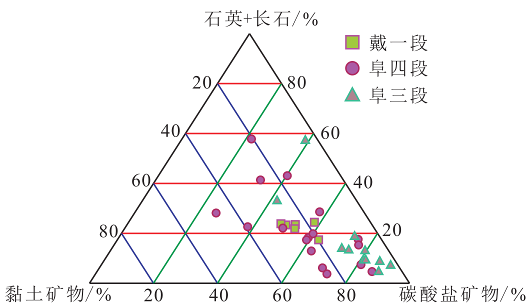
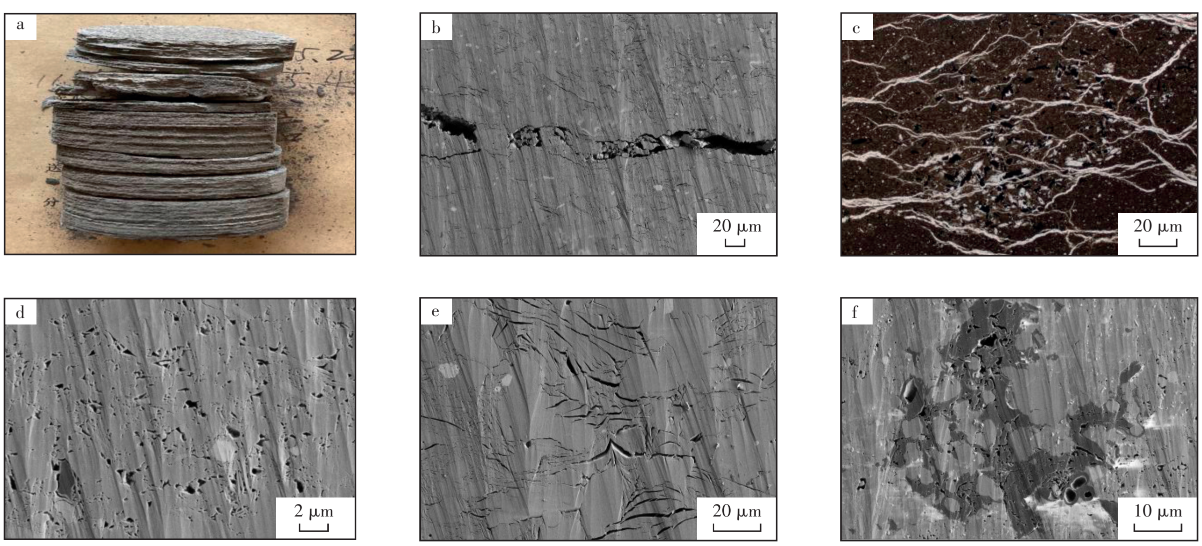


图6　金坛盆地阜宁组泥页岩矿物组成三角图

Fig. 6　Ternary diagram of mineral composition of mud shale in Funing Formation, Jintan Basin

6 结论

1) 金坛盆地阜四段形成于浅湖—半深湖为主的半封闭—封闭咸化沉积环境,发育灰、灰黑色泥灰



注:a. J9井,阜四段,1 155.15～1 155.25 m,层理缝;b. J9井,阜四段,1 201.11～1 201.14 m,微裂缝;c. J9井,阜四段,1 055.75～1 055.85 m,微裂缝极发育,充填硅质,见栉状排列;d. J9井,阜四段,1 055.75～1 055.85 m,粒间孔、粒缘缝;e. J9井,阜四段,1 201.11～1 201.14 m,黏土矿物晶间孔;f. J9井,阜四段,1 143.8～1 143.94 m,有机孔。

图7　金坛盆地J9井阜宁组四段储集空间特征

Fig. 7　Reservoir space characteristics of the fourth member of Funing Formation in Well-J9, Jintan Basin

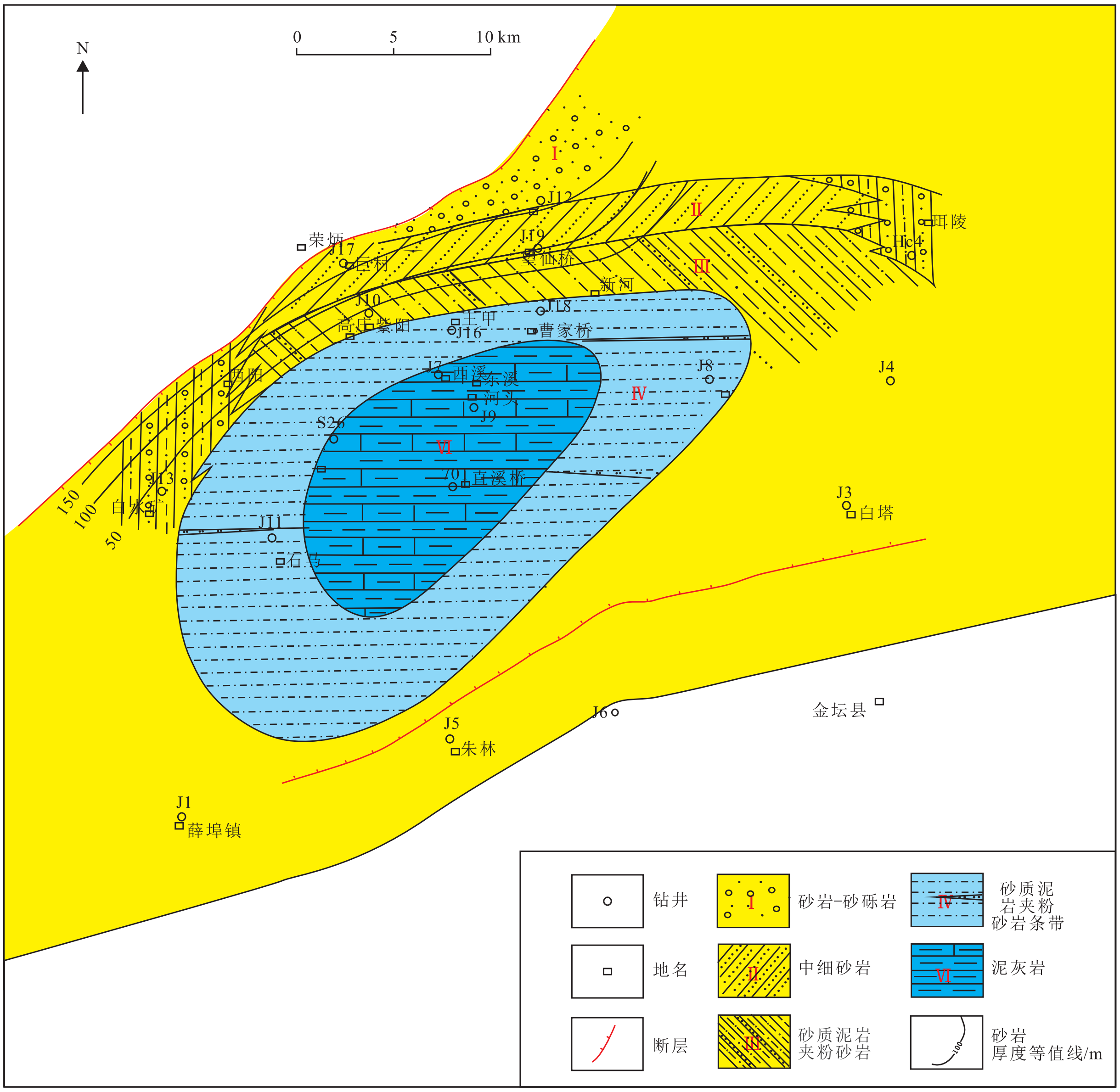


图8　金坛盆地戴南组沉积相图

Fig. 8　Sedimentary facies of Dainan Formation in Jintan Basin

岩、钙质泥岩，深凹带厚度最大超过250 m；泥页岩具有典型的低TOC的特征，TOC平均为1.02%；有机质类型以Ⅱ型为主，受火成岩影响，深凹带阜四段泥页岩成熟度中等，实测 R_o 已达到0.81%～0.85%，具备成烃的物质基础。

2）阜四段泥页岩脆性矿物含量较高，石英、长石含量平均为30.09%，碳酸盐矿物平均为52.23%，有利于后期的压裂改造。同时发育裂缝、孔隙两类储集空间，其中粒间孔、黏土矿物晶间孔是主要孔隙类型，层理缝及构造缝为页岩油的流动提供了良好的渗流通道。

3）金坛盆地具有良好的保存条件，阜四段膏岩层之下油气显示活跃，揭示了苏南地区茅山构造推覆带前排的新生代盆地可能具备中低成熟度页岩油勘探潜力，盆地中心埋深适中、保存条件好的部位是页岩油勘探的重点区带。

参 考 文 献

[1]　邹才能，朱如凯，董大忠，等．页岩油气科技进步、发展战略及政策建议[J]．石油学报，2022，43(12)：1675-1686.
ZOU Caineng, ZHU Rukai, DONG Dazhong, et al. Scientific and technological progress, development strategy and policy

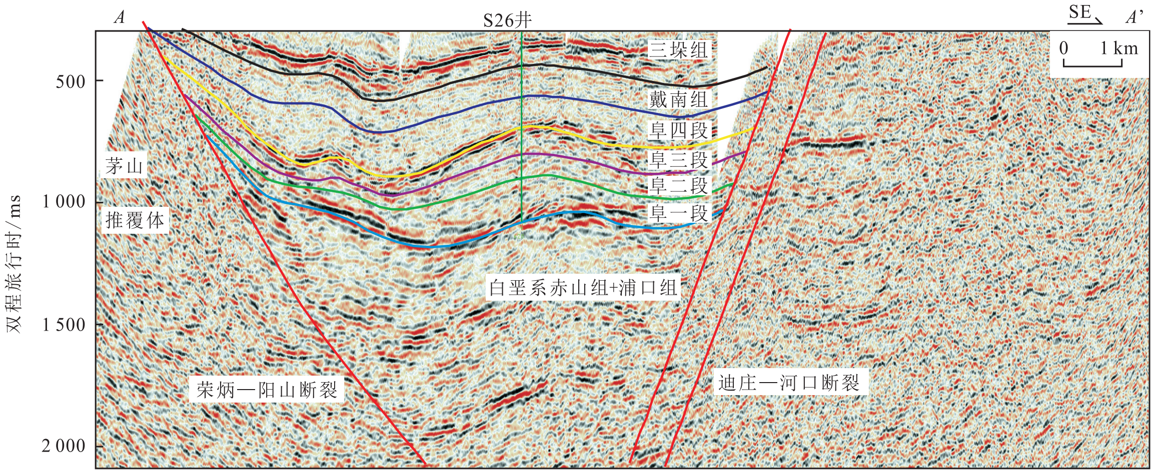


图9 金坛盆地过S26井地震解释剖面(剖面位置见图1)

Fig. 9 Seismic interpretation profile of Well-S26 in Jintan Basin(The cross-sectional position is shown in Fig. 1)

suggestion regarding shale oil and gas[J]. Acta Petrolei Sinica, 2022, 43(12): 1675-1686.

[2] 郭秋麟,米石云,张倩,等.中国页岩油资源评价方法与资源潜力探讨[J].石油实验地质,2023,45(3):402-412.
GUO Qiulin, MI Shiyun, ZHANG Qian, et al. Assessment methods and potential of shale oil resources in China[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2023, 45(3): 402-412.

[3] 张奎华,孙中良,张关龙,等.准噶尔盆地哈山地区下二叠统风城组泥页岩优势岩相与页岩油富集模式[J].石油实验地质,2023,45(4):593-605.
ZHANG Kuihua, SUN Zhongliang, ZHANG Guanlong, et al. Shale dominant lithofacies and shale oil enrichment model of Lower Permian Fengcheng Formation in Hashan area, Junggar Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2023, 45(4): 593-605.

[4] 徐田武,张成富,李红磊,等.不同环境下陆相页岩油气富集关键要素下限研究:以中原油田探区为例[J].断块油气田,2022,29(6):721-728.
XU Tianwu, ZHANG Chengfu, LI Honglei, et al. Research on lower limits of key factor controlling hydrocarbon accumulation of continental shale in different environments: Taking exploratory area of Zhongyuan oilfield as an example[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2022, 29(6): 721-728.

[5] 赵文智,朱如凯,刘伟,等.我国陆相中高熟页岩油富集条件与分布特征[J].地学前缘,2023,30(1):116-127.
ZHAO Wenzhi, ZHU Rukai, LIU Wei, et al. Enrichment conditions and distribution characteristics of lacustrine medium-to-high maturity shale oil in China[J]. Earth Science Frontiers, 2023, 30(1): 116-127.

[6] 王韶华,聂惠,马胜钟,等.江汉盆地潜江凹陷古近系潜江组盐间页岩油资源评价与甜点区预测[J].石油实验地质,2022,44(1):94-101.
WANG Shaohua, NIE Hui, MA Shengzhong, et al. Resource evaluation and sweet-spot prediction of inter-salt shale oil of Paleogene Qianjiang Formation, Qianjiang Sag, Jianghan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2022, 44(1): 94-101.

[7] 冯动军.四川盆地侏罗系大安寨段陆相页岩油气地质特征及勘探方向[J].石油实验地质,2022,44(2):219-230.
FENG Dongjun. Geological characteristics and exploration direction of continental shale gas in Jurassic Da'anzhai Member, Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2022, 44(2): 219-230.

[8] 云露,何希鹏,花彩霞,等.苏北盆地溱潼凹陷古近系陆相页岩油成藏地质特征及资源潜力[J].石油学报,2023,44(1):176-187.
YUN Lu, HE Xipeng, HUA Caixia, et al. Accumulation characteristics and resource potential of Paleogene continental shale oil in Qintong sag of Subei Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2023, 44(1): 176-187.

[9] 邹才能,杨智,李国欣,等.中国为什么可以实现陆相"页岩油革命"? [J].地球科学,2022,47(10):3860-3863.
ZOU Caineng, YANG Zhi, LI Guoxin, et al. Why can China realize the continental 'shale oil revolution'?[J]. Earth Science, 2022, 47(10): 3860-3863.

[10] 杨雷,金之钧.全球页岩油发展及展望[J].中国石油勘探,2019,24(5):553-559.
YANG Lei, JIN Zhijun. Global shale oil development and prospects[J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(5): 553-559.

[11] 朱国文,王小军,张金友,等.松辽盆地陆相页岩油富集条件及勘探开发有利区[J].石油学报,2023,44(1):110-124.
ZHU Guowen, WANG Xiaojun, ZHANG Jinyou, et al. Enrichment conditions and favorable zones for exploration and development of continental shale oil in Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2023, 44(1): 110-124.

[12] 姚红生,云露,昝灵,等.苏北盆地溱潼凹陷阜二段断块型页

岩油定向井开发模式及实践[J]. 油气藏评价与开发, 2023, 13(2): 141-151.
YAO Hongsheng, YUN Lu, ZAN Ling, et al. Development mode and practice of fault-block oriented shale oil well in the second member of Funing Formation, Qintong Sag, Subei Basin[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2023, 13(2): 141-151.

[13] 张顺, 刘惠民, 张鹏飞, 等. 东营凹陷中低成熟度富碳酸盐页岩地质特征: 以牛庄洼陷沙四段上亚段为例[J]. 中国矿业大学学报, 2022, 51(6): 1138-1151.
ZHANG Shun, LIU Huimin, ZHANG Pengfei, et al. Geological characteristics of shale oil enrichment in Niuzhuang sag, Dongying depression[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2022, 51(6): 1138-1151.

[14] 徐兴友, 刘卫彬, 陈 珊, 等. 松辽盆地南部陆相页岩油气勘查突破及意义[J]. 天然气工业, 2022, 42(3): 12-20.
XU Xingyou, LIU Weibin, CHEN Shan, et al. Breakthroughs in continental shale oil and gas exploration in the southern Songliao Basin and its implications for carbon neutrality[J]. Natural Gas Industry, 2022, 42(3): 12-20.

[15] 舒逸, 郑有恒, 包汉勇, 等. 四川盆地复兴地区下侏罗统页岩油气富集高产主控因素[J]. 世界石油工业, 2023, 30(5): 26-38.
SHU Yi, ZHENG Youheng, BAO Hanyong, et al. Main controlling factors for high yield and enrichment of shale oil and gas in the Lower Jurassic in the Fuxing area of Sichuan Basin[J]. World Petroleum Industry, 2023, 30(5): 26-38.

[16] 唐鑫萍, 许泓, 曹宇畅, 等. 三水盆地布二段灰岩夹层型页岩油地质特征[J]. 石油地质与工程, 2022, 36(2): 42-48.
TANG Xinping, XU Hong, CAO Yuchang, et al. Geological characteristics of limestone interbedded shale oil in Bu 2 member of Sanshui Basin[J]. Petroleum Geology & Engineering, 2022, 36(2): 42-48.

[17] 邱祖林. 苏南直溪桥盆地早第三纪地层孢粉组合及地质意义[J]. 江苏地质, 1999, 23(4): 216-220.
QIU Zulin. Sporopollen composition in Paleogene system and its geological significance in Zhixiqiao Basin of South Jiangsu [J]. Jiangsu Geology, 1999, 23(4): 216-220.

[18] 昝灵, 白鸾羲, 印燕铃, 等. 苏北盆地溱潼凹陷古近系阜宁组二段页岩油基本特征及成因分析[J]. 石油实验地质, 2023, 45(2): 356-365.
ZAN Ling, BAI Luanxi, YIN Yanling, et al. Basic characteristics and genesis analysis of shale oil in the second member of Paleogene Funing Formation in Qintong Sag, Subei Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2023, 45(2): 356-365.

[19] 魏长青, 徐农隆. 金坛盆地茅兴段含盐地层沉积特征[J]. 中国煤田地质, 2004, 16(3): 13-14.
WEI Changqing, XU Nonglong. Maoxing Block saliferous strata sedimentary characteristics, Jintan[J]. Coal Geology of China, 2004, 16(3): 13-14.

[20] 国家能源局. 烃源岩地球化学评价方法: SY/T 5735—2019 [S]. 北京: 石油工业出版社, 2019.
National Energy Administration. Geochemical method for source rock evaluation: SY/T 5735—2019[S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2019.

[21] 牛嘉玉, 张映红. 渤海湾盆地侵入岩-外变质带油气藏类型及成藏条件[J]. 特种油气藏, 2003, 10(1): 22-27.
NIU Jiayu, ZHANG Yinghong. Reservior types and forming conditions in intrusion rock-exomorphic zone of Bohai Gulf basin[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2003, 10(1): 22-27.

[22] 潘文蕾, 彭金宁, 翟常博, 等. 苏北盆地海相地层残存状况及成藏类型分析[J]. 石油实验地质, 2022, 44(2): 231-240.
PAN Wenlei, PENG Jinning, ZHAI Changbo, et al. Residual strata and hydrocarbon accumulation model of marine sediments in Subei Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2022, 44(2): 231-240.

[23] 化祖献, 刘小平, 孙彪, 等. 断陷盆地斜坡带油气富集差异性及成藏主控因素——以苏北盆地金湖凹陷三河次凹为例[J]. 石油实验地质, 2022, 44(6): 950-958.
HUA Zuxian, LIU Xiaoping, SUN Biao, et al. Differences in oil and gas enrichment in slope belts of rift basins and main controlling factors for hydrocarbon accumulation: A case study of Sanhe Sub-sag in Jinhu Sag, Subei Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2022, 44(6): 950-958.

[24] 邱旭明, 陈伟, 李鹤永, 等. 苏北盆地走滑构造与复杂断块油气成藏[J]. 石油实验地质, 2023, 45(3): 393-401.
QIU Xuming, CHEN Wei, LI Heyong, et al. Strike-slip structures and hydrocarbon accumulation in complex fault blocks in Subei Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2023, 45(3): 393-401.

[25] 许廷生. 渤海湾盆地岩浆侵入活动与油气成藏特征[J]. 特种油气藏, 2021, 28(1): 81-85.
XU Tingsheng. Research on the magmatic intrusion and oil and gas reservoir forming characteristics in Bohai Bay Basin[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2021, 28(1): 81-85.

[26] 雷鸣, 王丹丹, 邱小松, 等. 基于ANSYS的断层安全性评价方法及应用——以苏北盆地东台坳陷白驹含水层储气库为例[J]. 石油实验地质, 2022, 44(5): 904-913.
LEI Ming, WANG Dandan, QIU Xiaosong, et al. Evaluation method for fault safety and its application based on ANSYS: A case study of Baiju aquifer gas storage in Dongtai Depression, Subei Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2022, 44(5): 904-913.

[27] 金春爽, 乔德武, 淡伟宁. 渤海湾盆地中、新生代火山岩分布及油气藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 19-36.
JIN Chunshuang, QIAO Dewu, DAN Weining. Meso-Cenozoic volcanic rock distribution and reservoir characteristics in the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 19-36.

[28] 马晓潇, 黎茂稳, 胡克珍, 等. 渤海湾盆地济阳坳陷古近系异常高压成因及其与陆相页岩油富集的关系[J]. 石油实验地质, 2023, 45(1): 145-156.
MA Xiaoxiao, LI Maowen, HU Kezhen, et al. Abnormal pressure genesis and its relationship with continental shale oil accumulation in Paleogene, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2023, 45(1): 145-156.

（编辑 柳超超）