

引用格式:周磊,冯兴强,包书景,等.皖南泾县地区下三叠统殷坑组晏公堂剖面三维数字露头表征及油气地质意义[J].油气藏评价与开发,2022,12(1):160-170.  
ZHOU Lei, FENG Xingqiang, BAO Shujing, et al. 3D digital outcrop characterization and significance of petroleum geology of the early Triassic Yinkeng Formation Section in Jingxian County of southern Anhui[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2022, 12(1): 160-170.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2022.01.014

## 皖南泾县地区下三叠统殷坑组晏公堂剖面三维数字露头表征及油气地质意义

周磊<sup>1,2,3</sup>,冯兴强<sup>1,2,3</sup>,包书景<sup>4</sup>,谭元隆<sup>1,2,3</sup>,吴林<sup>1,2,3</sup>,张林炎<sup>1,2,3</sup>

(1. 中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081;2. 自然资源部古地磁与古构造重建重点实验室,北京 100081;  
3. 中国地质调查局油气地质力学重点实验室,北京 100081;4. 中国地质调查局油气资源调查中心,北京 100083)

**摘要:**皖南泾县地区广泛出露下三叠统殷坑组,但其油气勘探程度相对滞后。通过野外露头调查、地质调查井岩心资料、测试分析数据,综合探讨皖南地区殷坑组沉积特征、生烃条件和储层条件。基于“无人机立体摄影”采集技术,对剖面露头进行创新的数字化调查,可提取构造和沉积信息。结合人工地质考察与剖面数字化,皖南地区泾县晏公堂殷坑组可划分为16小层;殷坑组岩性组合总体上为灰色泥粉晶灰岩、砾屑灰岩、角砾灰岩,夹黑色、黑灰色泥岩。殷坑组泥岩累计厚度43.8 m,TOC(总有机碳含量)为0.38%~2.21%,镜质体反射率为0.95%~1.21%,殷坑组页岩为较好烃源岩,具有巨大生烃潜力。殷坑组灰岩层段孔隙度在0.928%~2.626%,渗透率在 $(0.12\sim 3.22)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,基质孔隙欠发育,渗透率低,但微裂缝和裂缝发育。因此,斜坡和开阔陆棚相带成为非典型“自生自储”有利沉积相带,殷坑组具有油气资源勘探潜力。

**关键词:**沉积相;油气潜力;殷坑组;皖南地区;泾县

中图分类号:TE121

文献标识码:A

### 3D digital outcrop characterization and significance of petroleum geology of the early Triassic Yinkeng Formation Section in Jingxian County of southern Anhui

ZHOU Lei<sup>1,2,3</sup>, FENG Xingqiang<sup>1,2,3</sup>, BAO Shujing<sup>4</sup>, TAN Yuanlong<sup>1,2,3</sup>, WU Lin<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Linyan<sup>1,2,3</sup>

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China; 2. Key Laboratory of Paleomagnetism and Paleotectonic Reconstruction, Ministry of Land and Resources of China, Beijing 100081, China;  
3. Key Laboratory of Petroleum Geomechanics, China Geological Survey, Beijing 100081, China;  
4. Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The oil and gas exploration of the Early Triassic Yinkeng Formation with wide distribution in the Jingxian County of the southern Anhui is relatively lagging. Based on the outcrop, well core and test analysis data, the depositional characteristics, hydrocarbon generation conditions and reservoir conditions of the Yinkeng Formation in southern Anhui are discussed. Using the “UAV stereo photography”, an innovative digital survey of the outcrop can be carried out to extract structural and sedimentary information. Combined with the artificial geology survey and the section digitization of the outcrop, the Yinkeng Formation can be divided into 16 sub-layers. The lithological of Yinkeng Formation is generally consist of gray mud limestone, conglomerate limestone and conglomerate limestone, with black and black gray mudstone. The cumulative thickness of the Yinkeng Formation is 43.8 meters with the TOC content ranging from 0.38 % to 2.21 % and the vitrinite reflectance ranging from 0.95 % to 1.21 %, indicating that the shales of the Yinkeng Formation is good source rocks and has a hydrocarbon potential. The porosity and permeability of limestones in the Yinkeng Formation range from 0.928 % to 2.626 %, and  $0.12\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$  to  $3.22\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,

收稿日期:2021-06-01。

第一作者简介:周磊(1987—),男,博士,助理研究员,主要从事石油地质研究工作。地址:北京市海淀区民族大学南路11号,邮政编码:100081。E-mail:zhoulei4010@126.com

通讯作者简介:包书景(1964—),男,博士,教授级高级工程师,主要从事石油地质研究工作。地址:北京市海淀区学院路29号,邮政编码:100083。E-mail:415530248@qq.com

基金项目:中国地质调查局项目“重点地区构造体系及油气页岩气控藏条件调查”(DD20190085)。

respectively. The limestone intervals have under-developed matrix pores and low permeability, but have developed micro-fractures. Therefore, slopes and open shelf are favorable sedimentary facies with “self-generation and self-storage” petroleum system, and the Yinkeng Formation has large hydrocarbon potential.

**Keywords:** sedimentary facies; hydrocarbon potential; Yinkeng Formation; southern Anhui; Jingxian County

泾县晏公堂剖面在大地构造上位于下扬子地块西南部,地处江南隆起带北缘与断陷盆地的过渡地带,褶皱与断裂呈北东—北东东向展布<sup>[1-2]</sup>。泾县地区南部连接出露早古生代及更老地层的江南隆起,北部连接多为白垩纪陆源碎屑充填的宣城—无为断陷盆地。区域地层出露及地质填图资料显示,泾县地区自寒武系至第四系沉积总厚7 000 m左右,其中除下—中泥盆统及部分古近系地层缺失外,区内地层发育相对完整(图1)。

下扬子地区中、古生界厚度大、分布范围广,涵盖多套海相油气生、储、盖组合,具有巨大油气资源潜力<sup>[3-4]</sup>。经过50多年油气基础地质调查,仅在黄桥、句容和盐城等地区发现油气显示,中生界油气勘探始终未获得具有商业价值工业油流<sup>[5-6]</sup>。2019年中国地质调查局实施皖为页1井、皖泾地1井、皖泾地2井,在中、下三叠统周冲村组和殷坑组获得油气显示,开辟了皖南地区油气勘探新层系<sup>[7-8]</sup>。相比于二叠系非常规油气调查和勘探程度<sup>[6-10]</sup>,皖南地区下三叠统殷坑组油气勘探相对滞后,缺乏油气资源潜力系统评价。通过皖南泾县地区晏公堂剖面地质调查,初步分析殷坑组生烃条件和储层条件,为油气资源潜力评价提供基础性资料。

## 1 三维数字剖面表征

### 1.1 剖面露头数字化

晏公堂剖面构造上位于晏公堂向斜核部,地理上位于安徽省泾川县泾川镇棠叶村南。晏公堂剖面全长约500 m,基本沿晏公堂采石场及采石公路测制,采石矿区地形高差大,传统人工地质测量具有潜在人身安全危险性<sup>[11-12]</sup>。因此,该文进行野外地质测量过程中尝试应用无人机数字露头采集和建模技术,为野外地质调查工作提供了一个新的工作手段。

首先,对下三叠统殷坑组晏公堂剖面采石矿区(东西长约502 m,南北宽约433 m)进行无人机巡航扫描,采用“无人机立体摄影”采集技术<sup>[13-14]</sup>,使用低

空无人机多角度倾斜立体摄影采集数据,摄影采集数据带有三维坐标信息(即点云信息)与图像信息<sup>[15-16]</sup>,可以提取任意位置点坐标、图像和地质信息数据(图2a)。其次,基于已经采集晏公堂剖面点云信息和图像信息,进行网格剖分,建立晏公堂剖面主体采矿区的三维网格化数据模型(图2b、图2c)。最后,在主体采矿区三维网格化模型,导入点云和图片信息形成瓦片区块成像集,完成晏公堂剖面中主体采矿区数字化(图2d)。

晏公堂剖面殷坑组第14—18小层位于采石场主体矿区,剖面地形高差大、坡度近直立,近距离人工地质测量无法实施,远眺观测剖面由于人眼视距和分辨率限制,在地层岩性观察存在误差,因此在14—18小层采用无人机数字剖面进行地层信息提取(图3a)。远眺观察第15—16小层,其整体岩性为黑色页岩,偶夹2~3层薄层灰岩。利用数字剖面提取地层岩性信息,第15—16小层表现为黑色页岩夹薄层—中层灰岩,且含22层不同厚度灰岩(图3b)。数字剖面可以直接测量小层厚度,第16小层黑色页岩夹灰岩层厚9.64 m,第16小层灰岩夹薄层页岩厚9.23 m。在二次放大数字剖面过程中,极限放大图片信息提取15 cm视域,结合岩石颜色和类型信息可分辨3—5层,可估算模型中有效识别单层分辨率可达到3~5 cm(图3c)。通过无人机数字化剖面提取地层岩性和厚度信息,建立晏公堂剖面14—18小层柱状图。

在对晏公堂剖面14—18小层采用无人机数字剖面进行层信息提取同时,数字化图像也可提取断层位置、性质、断距以及其牵引现象信息。晏公堂剖面发育一系列断层,无人机数字化图像可以将黑色泥页岩定位标志层,观察断层上下盘特征,判别断层性质为正断层。结合三维坐标信息,大致刻画断层走向为北东向(N<sub>E</sub>37°)(图3d)。由于正断层上下盘在断面岩性差异,受断面摩擦力牵拽发生向下弯曲变形(图3e);图3f图像二次放大,正断层牵引构造更为明显。在断层性质判别基础上,可刻画断距分别为5.43, 2.89 m(图3e)。

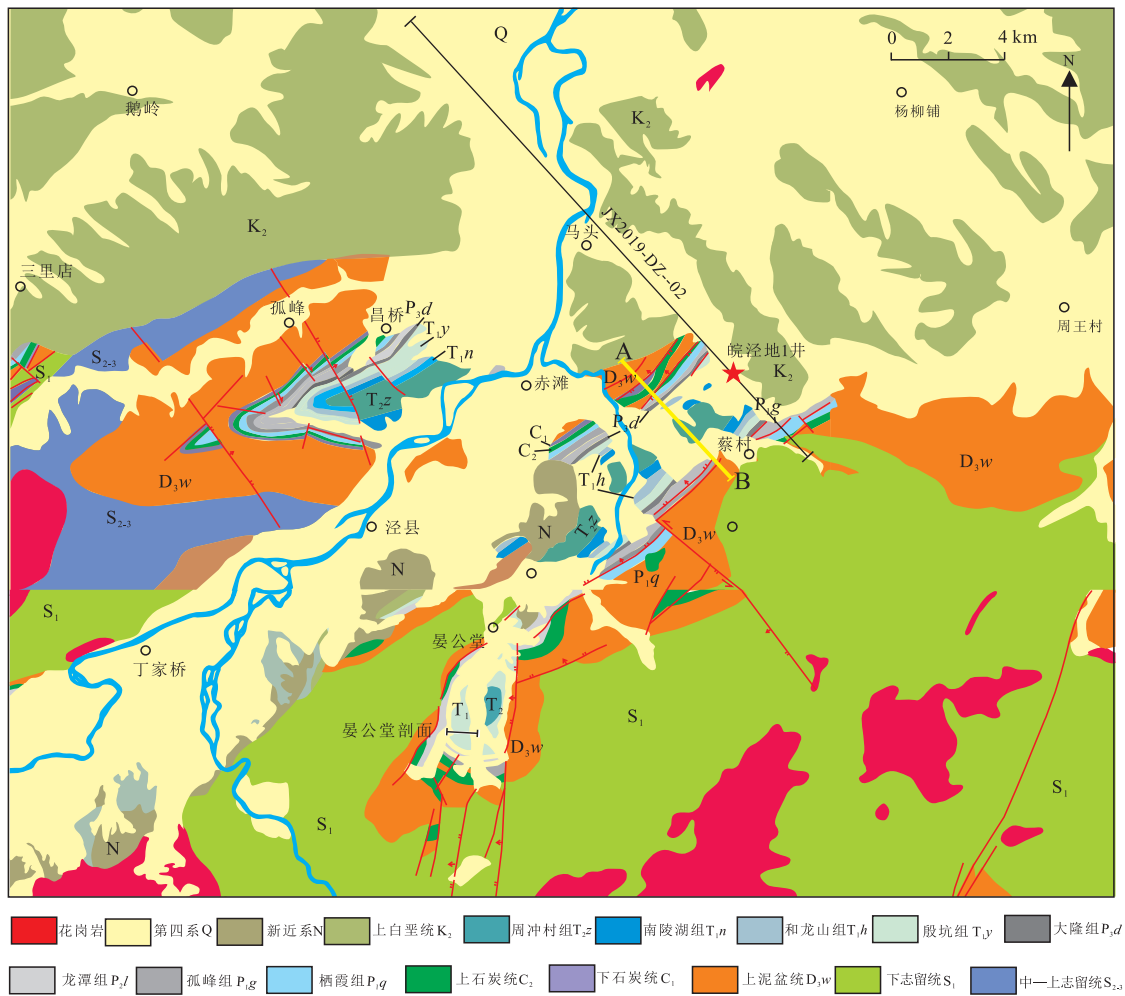


图1 皖南泾县地区地质简图及剖面位置

Fig. 1 Geological map and outcrop location of Jingxian County of southern Anhui

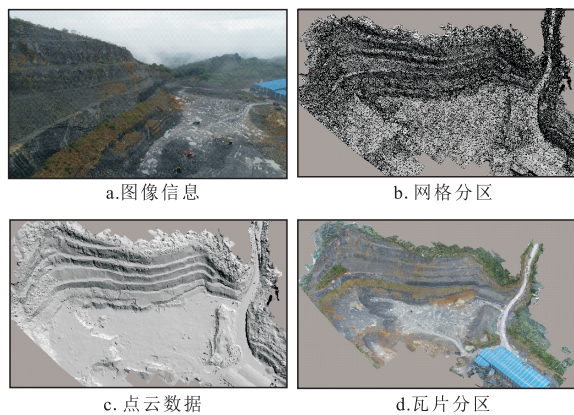
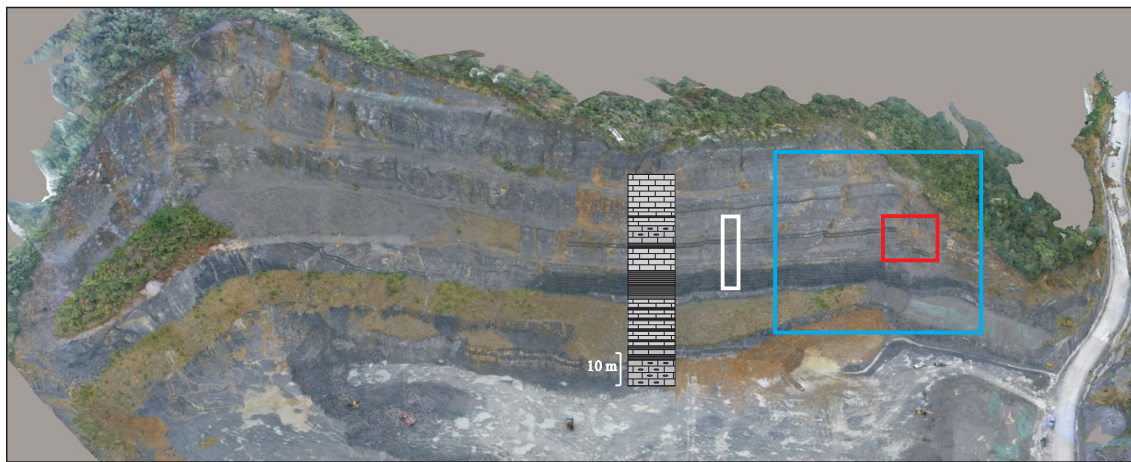


图2 泾县地区晏公堂三叠系剖面无人机采集数字露头全貌

Fig. 2 Digital outcrop of Triassic Yangongtang section by unmanned aerial vehicles in Jingxian County

### 1.2 无人机与人工考察的结合

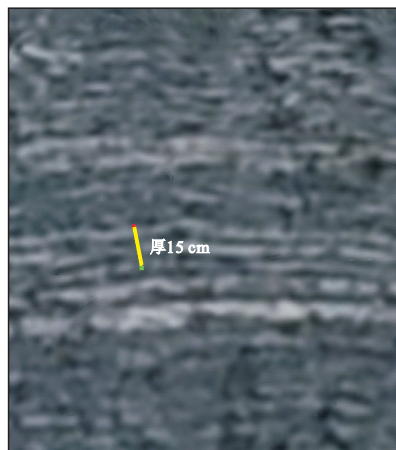
提取人工实测剖面点坐标信息(经度、维度和海拔)和地质信息,导入人工实测剖面点到下三叠统殷坑组晏公堂数字化剖面;基于人工实测点坐标信息和地质信息刻画晏公堂剖面三维数据点云信息(经度、维度和海拔)和图像信息,实现定性描述和定量表征,完成晏公堂剖面殷坑组的测量(图4)。晏公堂剖面自下而上依次为大隆组(P<sub>2d</sub>)、殷坑组(T<sub>1y</sub>)及和龙山组(T<sub>1h</sub>),晚二叠世陆棚相的大隆组黑色、黑灰色硅质页岩夹碳质页岩,上覆下三叠统殷坑组为斜坡—开阔陆棚环境灰岩、角砾灰岩夹泥页岩沉积(图4),而和龙山组底部为浅灰色薄层灰岩,含铁质结核。殷坑组岩性组合总体上为灰色泥粉晶灰岩、砾屑灰岩,夹黑色、黑灰色泥岩,具体描述见表1。



a. 14—18小层数字剖面



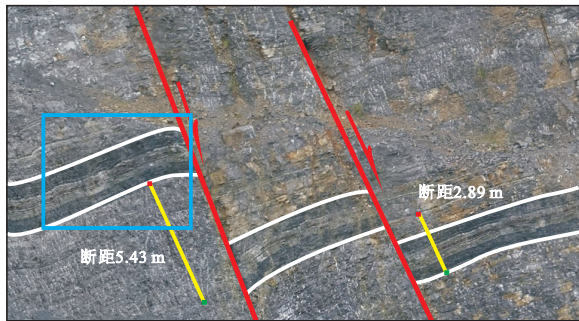
b. 泥岩和灰岩厚度测量



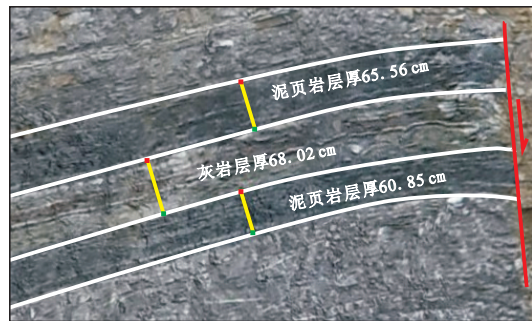
c. 分辨率图解



d. 断层产状解析



e. 断层断距测量



f. 断层牵引现象

图3 泾县地区晏公堂剖面数字露头地质信息提取

Fig. 3 Geological information from digital outcrop of Yangongtang section in Jingxian County

### 1.3 模型数字化表征

在无人机数字露头和人工考察结合基础上,实现殷坑组剖面模型数字化表征,包括殷坑组剖面地层界线划分、岩性识别、岩性组合关系判断和垂向叠置关系确定。研究选取晏公堂剖面第14小层,剖面出露较好,地层岩性界线明显,岩性厚度稳定(图5a)。露头页岩分化为灰黄色,岩性组合自下而

上为多期灰色角砾灰岩、细晶灰岩和页岩。露头主要表现为下伏中层状斜坡角砾灰岩与开阔陆棚相薄层灰岩、页岩叠置,中层状角砾灰岩—薄层灰岩—页岩韵律性变化反映水体周期性深浅变化。典型露头位于晏公堂剖面第15—16小层,地层岩性界线明显,受断层影响页岩弯曲变形(图5b)。露头岩性组合自下而上为多期黑色页岩、薄层细晶灰岩构成,露头主要表现为开阔陆棚粉晶灰岩、页岩叠置。

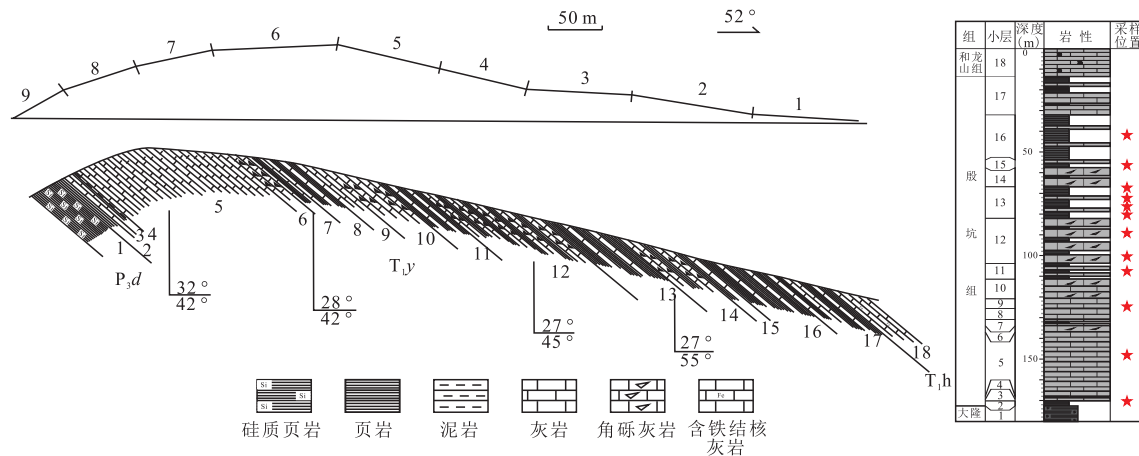


图4 泾县地区三叠系殷坑组晏公堂剖面

Fig. 4 Yangongtang section of Yinkeng Formation in Triassic of Jingxian County

表1 下三叠统殷坑组晏公堂剖面测量

Table 1 Measured results from Yangongtang section in Lower Triassic Yinkeng Formation

地层	小层	层厚 (m)	岩性描述	含化石	采样及测试	
下三叠统	殷坑组	18	13.6	浅灰色薄层灰岩, 含铁质结核		
		17	18.5	上部为黑色页岩夹浅灰色薄层灰岩, 下部为浅灰色薄至中厚层灰岩夹灰黑色页岩	含瓣鳃类: <i>Claraia</i> sp.	
		16	21.8	黑灰色泥页岩夹薄层灰岩	含瓣鳃类: <i>Posidonia</i> sp.; 菊石: <i>Gyrophiceras</i> sp., <i>Koninckites</i> sp., <i>Parakymatites</i> sp.	泥页岩样品 YGT-12, 有机地球化学测试分析
		15	3.7	灰色中厚层灰岩和黑色泥页岩互层		泥页岩样品 YGT-11, 有机地球化学测试分析
		14	9.2	浅灰中厚层—厚层色砾屑灰岩、角砾灰岩, 夹黑色页岩	含瓣鳃类: <i>Posidonia</i> sp., <i>Entolum</i> sp.	
		13	15.2	黑色页岩夹中厚层灰岩	含瓣鳃类: <i>Claraia</i> sp., <i>Posidonia</i> sp.	泥页岩样品 YGT-07、YGT-08、YGT-09、YGT-10, 有机地球化学测试分析
		12	21.8	灰色、浅灰色厚层角砾灰岩, 夹黑色泥页岩		灰岩样品 YGT-05、YGT-06, 铸体薄片, 孔隙度和渗透率物性测试
		11	7.6	浅灰色、灰色薄层—中厚层灰岩与灰黑色页岩互层	含菊石: <i>Gyronites</i> sp., <i>Gyrophiceras</i> sp., <i>Prionolobus</i> sp., <i>Gyrolecanites</i> sp.; 含瓣鳃类: <i>Eumorphotis</i> sp.	泥页岩样品 YGT-04, 有机地球化学测试分析
		10	9.5	灰色厚层角砾灰岩夹中厚层灰岩		
		9	4.7	浅灰色中厚层灰岩夹薄层灰岩		
		8	5.3	深灰色薄层灰岩和中厚层灰岩互层		灰岩样品 YGT-02, 铸体薄片, 孔隙度和渗透率物性测试
		7	3.0	深灰色薄层—中厚层灰岩夹黑色页岩, 局部含同生角砾	含菊石: <i>Gyronitidae</i>	
		6	3.0	灰色厚层角砾灰岩		
		5	31.1	灰色薄—中层砾屑灰岩		灰岩样品 YGT-01, 铸体薄片, 孔隙度和渗透率物性测试
		4	2.5	灰色薄层灰岩夹黑色页岩	含菊石: <i>Meekoceras</i> sp. 瓣鳃类: <i>Claraia</i> cf. <i>griesbachi</i>	页岩样品 YGT-03, 有机地球化学测试分析
		3	0.7	灰色中厚层灰岩		
		2	2.4	灰黑色泥页岩		
		上二叠统	大隆组	1	11.9	灰黑色硅质页岩夹泥页岩

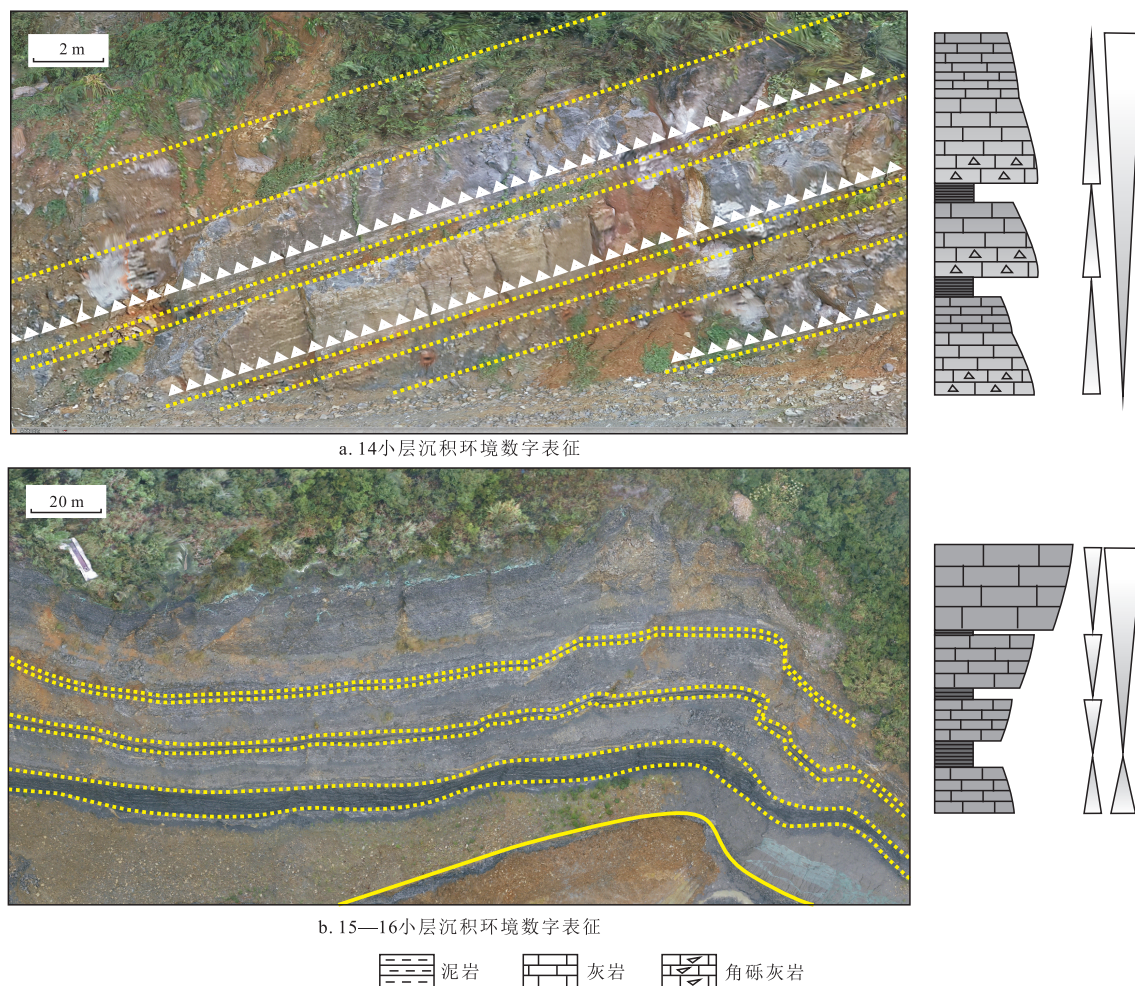


图5 泾县地区晏公堂剖面典型露头数字露头表征

Fig. 5 Features of typical digital outcrops of Yangongtang section in Jingxian County

## 2 油气成藏条件及资源意义

### 2.1 生烃条件

晏公堂剖面殷坑组黑色泥页岩岩石热解,  $TOC$  值在 0.38% ~ 2.21%, 平均值为 0.86% (表 2)。可溶烃量 ( $S_1$ ) 值在 0.06 ~ 1.06 mg/g, 平均值为 0.28 mg/g; 热解烃量 ( $S_2$ ) 值在 0.31 ~ 3.18 mg/g, 平均值为 1.15 mg/g; 产油潜力 ( $S_1 + S_2$ ) 在 0.37 ~ 4.24 mg/g, 平均值为 1.43 mg/g。氢指数 (HI) 值在 82 ~ 172 mg/g, 平均值为 123 mg/g。最高峰温 ( $T_{max}$ ) 值在 434 ~ 444 °C, 平均值为 439 °C。综合  $T_{max}$ -HI 指数图版识别, 殷坑组页岩有机质类型以 II-III 型为主。页岩镜质体反射率 ( $R_o$ ) 值为 0.95% ~ 1.21%, 平均值为 1.12%; 有机质处于成熟阶段, 为热催化生油气阶段, 开始生成成熟

油和气。结合有机质成熟度、有机质丰度和产油潜力划分标准<sup>[17-18]</sup>, 殷坑组存在较好烃源岩, 具有生烃潜力(图 6)。

### 2.2 储层条件

殷坑组灰岩层段主体为泥晶—粉晶灰岩、角砾灰岩, 岩性致密。通过高压压汞 (MIP)、核磁共振 (NMR) 和铸体薄片对殷坑组灰岩进行孔、渗分析, 确定殷坑组灰岩储层条件。高压压汞测试结果表明, 殷坑组孔隙度 ( $\varphi$ ) 值在 0.928% ~ 2.626%, 渗透率 ( $k$ ) 值在  $(0.12 \sim 3.22) \times 10^{-3} \mu m^2$ , 汞饱和中值压力 ( $p_{50}$ ) 值在 39.44 ~ 161.37 MPa, 中值孔隙半径 ( $r_{50}$ ) 值在 0.005 ~ 0.019  $\mu m$  (表 3)。核磁共振测试与压汞测试测量孔隙度相似, 且核磁共振曲线均呈现双峰型 (图 7)。

铸体薄片鉴定指示殷坑组灰岩基质孔隙和溶蚀

表2 殷坑组泥页岩有机地球化学分析  
Table 2 Organic geochemistry analysis of shales in Yinkeng Formation

样品	岩石热解					镜质体反射率(%)			
	$S_1$ (mg/g)	$S_2$ (mg/g)	$T_{max}$ (°C)	$S_1+S_2$ (mg/g)	TOC(%)	氢指数(mg/g)	min $R_o$	max $R_o$	mea $R_o$
TGY-03	0.14	0.54	435	0.68	0.45	119	0.97	1.14	1.08
TGY-04	0.14	0.56	434	0.70	0.53	105	0.92	1.12	1.07
TGY-07	0.27	1.84	440	2.11	1.07	172	0.91	1.23	0.95
TGY-08	1.06	3.18	444	4.24	2.21	144	1.11	1.30	1.21
TGY-09	0.21	0.84	440	1.05	0.61	138	0.94	1.21	1.18
TGY-10	0.31	1.44	437	1.75	1.02	141	0.78	1.26	1.12
TGY-11	0.06	0.50	442	0.56	0.58	87	1.05	1.35	1.21
TGY-12	0.06	0.31	444	0.37	0.38	82	0.93	1.23	1.17

注: $S_1$ 为可溶烃量; $S_2$ 为热解烃量; $T_{max}$ 为最高峰温; $S_1+S_2$ 为产油潜力;TOC为总有机碳含量; $R_o$ 为镜质体反射率。

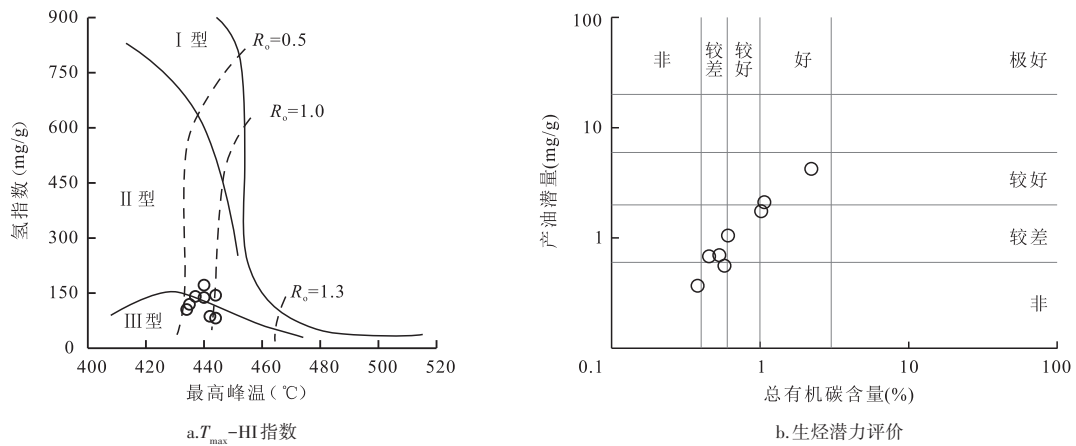


图6 泾县地区下三叠统殷坑组页岩有机质类型判别图和生烃潜力评价

Fig. 6 Organic matter type and source rock characteristics as interpreted by relation between hydrocarbon potential and TOC of Yinkeng Formation in Lower Triassic of Jingxian County

表3 下三叠统殷坑组灰岩物性分析  
Table 3 Physical property analysis of Yinkeng Formation in Lower Triassic of Jingxian County

样品	高压压汞				核磁共振	
	$\varphi_{MIP}$ (%)	$k$ ( $10^{-3}\mu m^2$ )	$p_{50}$ (MPa)	$r_{50}$ ( $\mu m$ )	$\varphi_{NMR}$ (%)	峰型 (个)
TGY-01	1.988	0.48	151.48	0.005	1.97	2
TGY-02	0.928	3.22	84.25	0.009	0.93	2
TGY-05	1.108	0.32	161.37	0.005	1.06	2
TGY-06	2.626	0.12	39.66	0.019	2.41	2

注: $\varphi$ 为孔隙度; $k$ 为渗透率; $p_{50}$ 为汞饱和中值压力; $r_{50}$ 为中值孔隙半径。

孔隙欠发育,储集空间多为微裂隙。微裂缝依据成因可分为构造裂隙和溶蚀裂隙,构造裂隙呈细密平直,溶蚀裂隙呈肠状或蛇曲状。灰岩孔隙空间类型为孔隙和微裂隙,与核磁共振曲线双峰型相吻合。

殷坑组灰岩先后经历印支期挤压、晚白垩世以来的伸展构造运动<sup>[19]</sup>,在皖南地区易形成断裂和溶洞(断溶体)规模型储集空间。泾地1井1650 m井段岩心和荧光显示,轻质油沿着裂缝富集(图8a—图8c),裂缝为主要储集空间。在皖南巢湖高林剖面殷坑组发育规模型溶洞,溶洞直径在30~50 cm(图8d)。塔河油田奥陶系碳酸盐岩灰岩基质孔隙在1%~3%,岩溶缝洞是油气重要储集体<sup>[20]</sup>。因此,殷坑组灰岩基质孔隙度低,裂缝和溶洞使之成为良好储层。

### 2.3 油气资源意义

中国地质调查局实施的泾页1井、泾地1井、宣页1井、油地1井、港地1井,均钻遇完整的殷坑组地层。结合地质调查钻井、煤田浅钻以及二维地震资料,揭示宣城凹陷下三叠统殷坑组分布范围广、面积

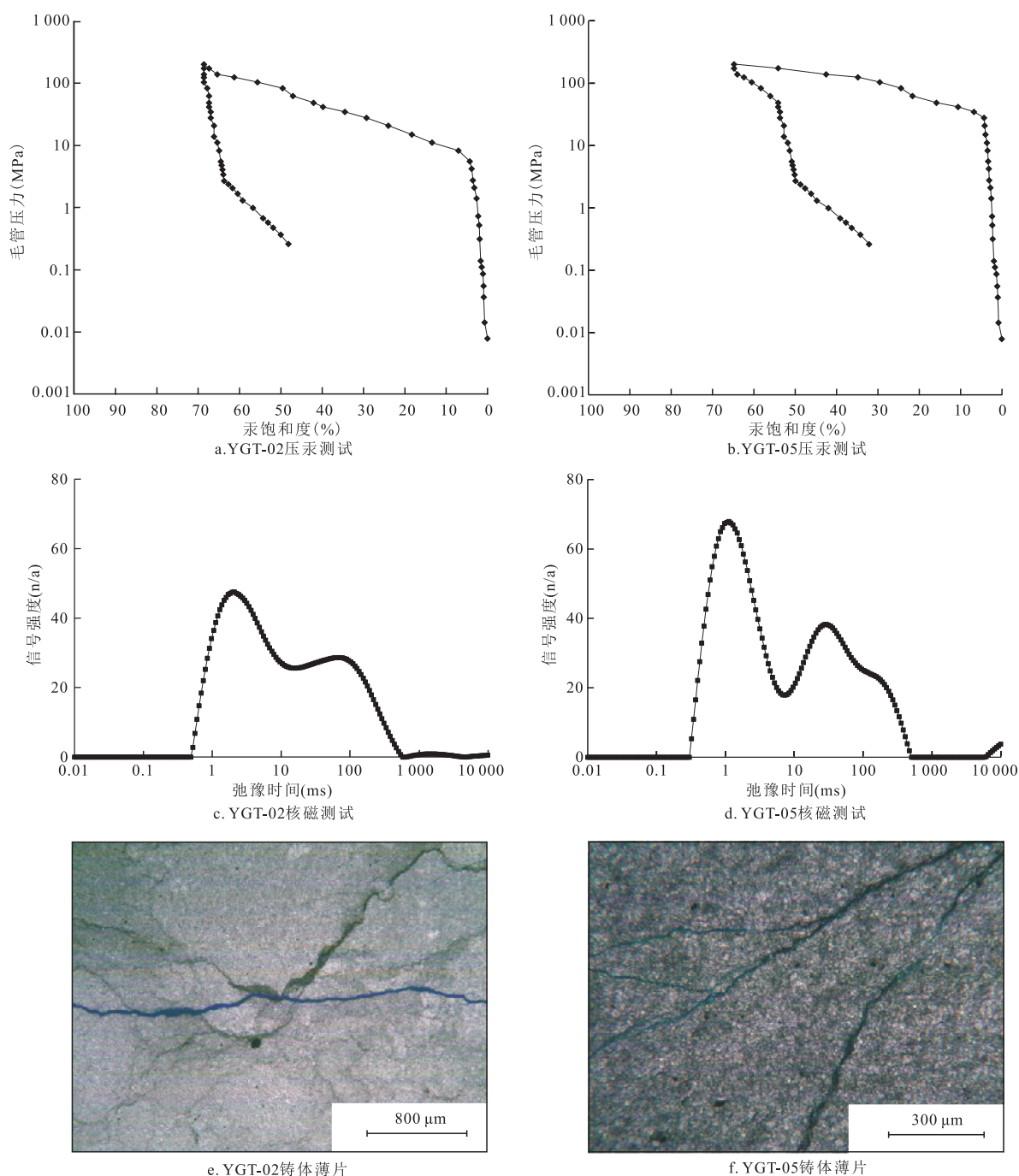


图7 泾县地区下三叠统殷坑组灰岩高压压汞、核磁共振和铸体薄片

Fig. 7 MICP, NMR and identification of limestone in Yinkeng Formation of Lower Triassic in Jingxian County

大,厚度在150~299 m(图9)。采用成因法计算了殷坑组烃源岩的生烃资源量,在皖泾地1井最大生油强度可达到 $68 \times 10^4$  t/km<sup>2</sup>(图10),在宣城凹陷泾县地区约130 km<sup>2</sup>范围内,累积总生油强度可达近 $5\,000 \times 10^4$  t,表明殷坑组具有良好的油气资源潜力。

### 3 结论

1) 采用“无人机立体摄影”采集技术对下三叠统殷坑组晏公堂剖面露头数字化调查,有效识别单

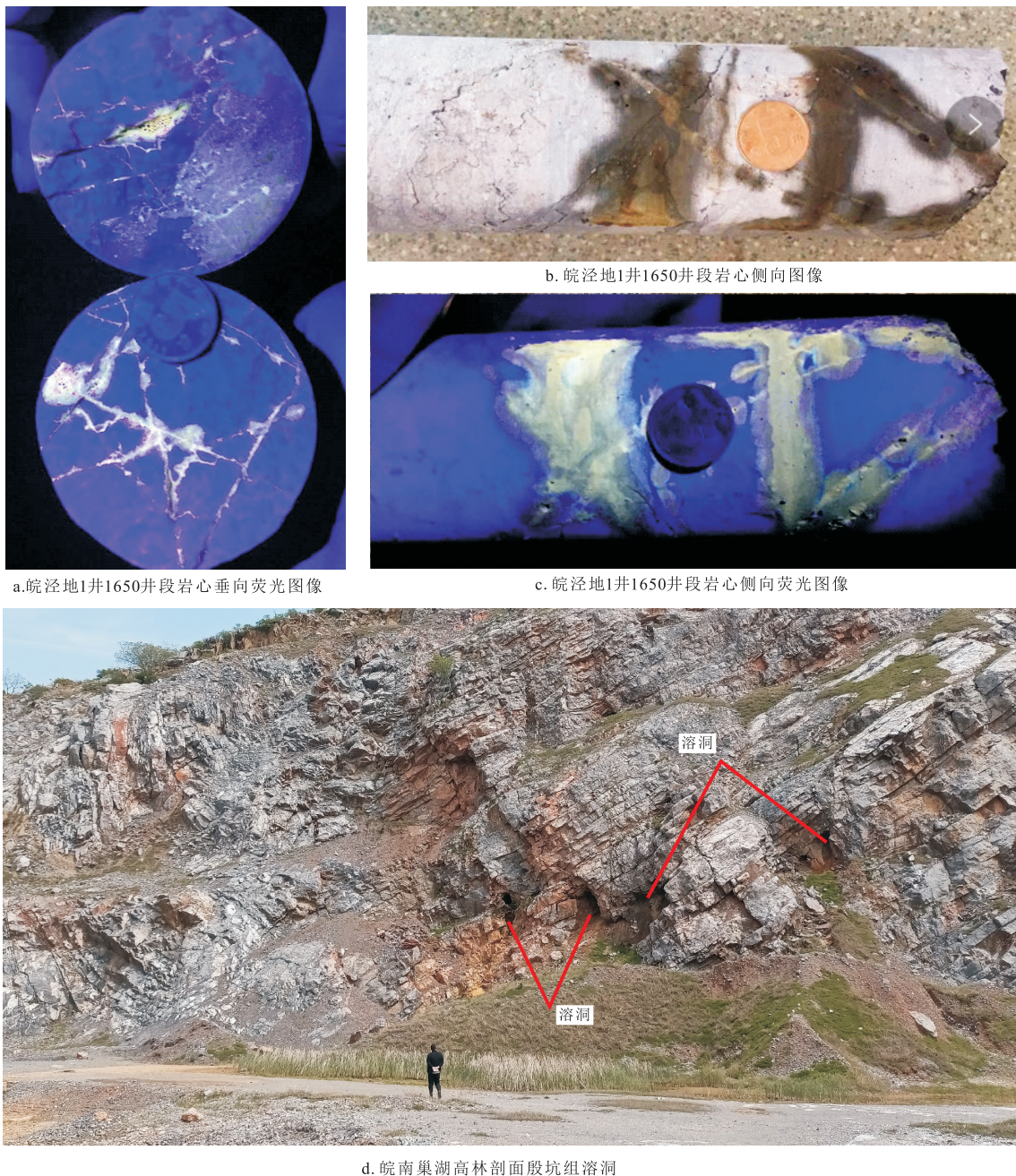


图8 泾县地区下三叠统殷坑组灰岩裂缝和溶洞

Fig. 8 Limestone of fractures and Karst caves in Yinkeng Formation of Lower Triassic in Jingxian County

层分辨率可达到3~5 cm,可提取构造和沉积信息。

2) 结合人工地质考察与剖面数字化,皖南地区泾县晏公堂殷坑组地层厚约160 m,可划分为16小层;殷坑组岩性组合总体上为灰色泥粉晶灰岩、砾屑灰岩、角砾灰岩,夹黑色、黑灰色泥岩。

3) 殷坑组泥岩累计厚度大,有机质丰度适中,成熟度处在生油窗内,生烃条件良好;灰岩层段基质

孔隙欠发育,渗透率低,但微裂缝发育,为典型致密裂缝型储层,具有油气资源潜力。

#### 参考文献

- [1] 段宏亮,王红伟. 苏南地区下三叠统青龙组灰岩有效裂缝的厘定[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2012, 34(1): 59-63.  
DUAN Hongliang, WANG Hongwei. Dating the effective fractures of Qinglong Formation Limestone in Southern Jiangsu Area[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2012, 34(1): 59-63.

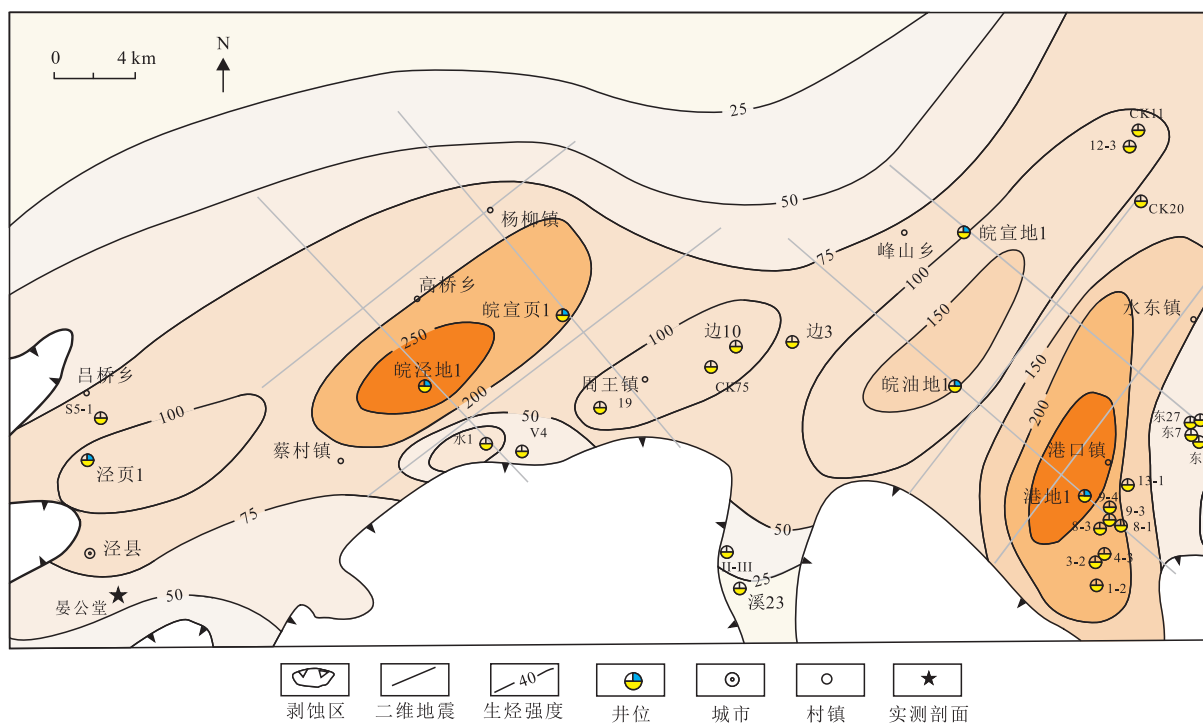


图9 泾县地区下三叠统殷坑组残余厚度平面分布

Fig. 9 Plane distribution of thickness of Yinkeng Formation of Lower Triassic in Jingxian County

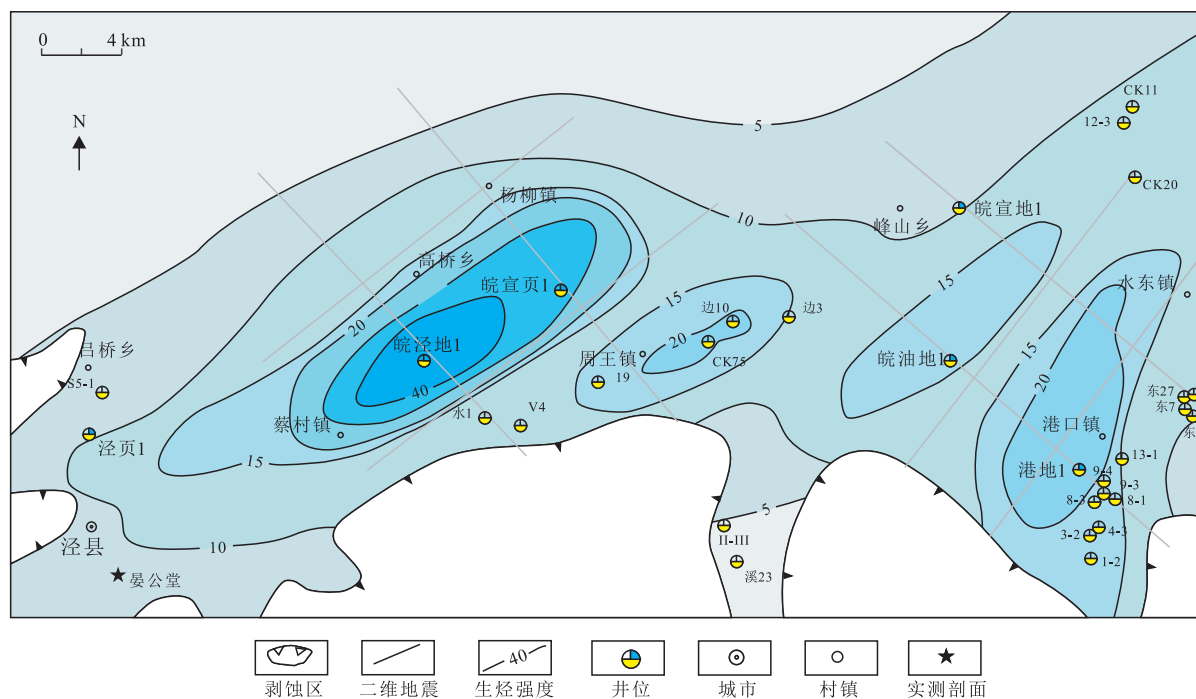


图10 泾县地区下三叠统殷坑组页岩生烃强度平面分布

Fig. 10 Hydrocarbon-generating intensity of Yinkeng Formation of Lower Triassic in Jingxian County

- [2] 李海滨,贾东,武龙,等.下扬子地区中-新生代的挤压变形与伸展改造及其油气勘探意义[J].岩石学报,2011,27(3):770-778.  
LI Haibin, JIA Dong, WU Long, et al. The Mesozoic-Cenozoic compressional deformation, extensional modification and their significance for hydrocarbon exploration in Lower Yangtze region[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(3): 770-778.
- [3] 金之钧,刘光祥,方成名,等.下扬子区海相油气勘探选区评价研究[J].石油实验地质,2013,35(5):473-479.  
JING Zhijun, LIU Guangxiang, FANG Chengming, et al. Evaluation of selected areas for petroleum exploration in marine strata of Lower Yangtze region[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(5): 473-479.
- [4] 柴方园.下扬子下古生界沉积相研究及有利区评价[J].油气藏评价与开发,2019,9(2):7-12.  
CHAI Fangyuan. Study on Paleozoic sedimentary facies and favorable area evaluation in lower Yangtze basin[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2019, 9(2): 7-12.
- [5] 宋桂桥,杨振升,薛野.中石化下扬子地区油气地震勘探攻关进展及方向[J].石油物探,2019,58(2):303-312.  
SONG Guiqiao, YANG Zhengsheng, XUE Ye. Progress and direction of seismic exploration in SINOPEC Lower Yangtze area, China[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2019, 58(2): 303-312.
- [6] 宋腾,陈科,林拓,等.下扬子苏皖南地区上二叠统页岩油气地质条件研究[J].中国地质调查,2019,6(2):18-25.  
SONG Teng, CHEN Ke, LIN Tuo, et al. Study on geological conditions of Upper Permian shale oil and gas in Lower Yangtze area of southern Jiangsu-Anhui Province[J]. Geological Survey of China, 2019, 6(2): 18-25.
- [7] 吴通,李建青,章诚诚,等.下扬子无为凹陷中三叠世周冲村组天然气成藏物质基础分析[J].华东地质,2020,41(4):425-433.  
WU Tong, LI Jianqing, ZHANG Chengcheng, et al. Analysis on the gas reservoir forming conditions of Middle Triassic Zhouchongcun Formation in Wuwei depression, Lower Yangtze Basin[J]. East China Geology, 2020, 41(4): 425-433.
- [8] 李建青,章诚诚,黄正清,等.扬子复杂构造区超高压含气层的发现及油气富集关键要素[J].地质通报,2021,40(4):577-585.  
LI Jianqing, ZHANG Chengcheng, HUANG Zhengqing, et al. Discovery of over pressure gas reservoirs in the complex structural area of the Lower Yangtze and its key elements of hydrocarbon enrichment[J]. Geological Bulletin of China, 2021, 40(4): 577-585.
- [9] 安徽省地质矿产局.安徽省区域地质志[M].北京:地质出版社,1987.  
Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province. Regional geological records of Anhui Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987.
- [10] 安徽省地质矿产局区域地质调查队.安徽地层志—二叠系分册[M].合肥:安徽科学技术出版社,1985.  
Regional Geological Survey of Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province. Anhui stratigraphy—Permian fascicule book[M]. Hefei: Anhui Science and Technology Press, 1985.
- [11] 印森林,陈恭洋,刘兆良,等.基于无人机倾斜摄影的三维数字露头表征技术[J].沉积学报,2018,36(1):75-83.  
YIN Senlin, CHEN Gongyang, LIU Zhaoliang, et al. 3D digital outcrop characterization technology based on unmanned aerial vehicle oblique photography[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2018, 36(1): 75-83.
- [12] 朱如凯,白斌,袁选俊,等.利用数字露头模型技术对曲流河三角洲沉积储层特征的研究[J].沉积学报,2013,31(5):867-877.  
ZHU Rukai, BAI Bin, YUAN Xuanjun, et al. A new approach for outcrop characterization and geostatistical analysis of meandering channels sandbodies within a delta plain setting using digital outcrop models: Upper Triassic Yanchang tight sandstone formation, Yanhe outcrop, Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(5): 867-877.
- [13] 周晓波,王军,周伟.基于无人机倾斜摄影快速建模方法研究[J].现代测绘,2017,40(1):40-42.  
ZHOU Xiaobo, WANG Jun, ZHOU Wei. Research on rapid modeling method based on UAV oblique photography[J]. Modern Surveying and Mapping, 2017, 40(1): 40-42.
- [14] 毕凯,李英成,丁晓波,等.轻小型无人机航摄技术现状及发展趋势[J].测绘通报,2015,27(3):27-31.  
BI Kai, LI Yingcheng, DING Xiaobo, et al. Aerial photogrammetric technology of light small UAV: Status and trend of development[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2015, 27(3): 27-31.
- [15] 孙亮,夏永华.基于无人机倾斜摄影技术测绘大比例尺地形图的可行性研究[J].价值工程,2017,36(8):209-212.  
SUN Liang, XIA Yonghua. The feasibility study of mapping large-scale topographic based on UAV oblique photography[J]. Value Engineering, 2017, 36(8): 209-212.
- [16] 王涵.无人机航迹规划及导航定位系统研究[D].杭州:浙江大学,2017.  
WANG Han. Research on the path planning and positioning/navigation system of UAV[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017.
- [17] 王铁冠,钟宁宁,侯读杰,等.低熟油气形成机理与分布[M].北京:石油工业出版社,1995.  
WANG Tieguan, ZHONG Ningning, HOU Dujie, et al. Genetic mechanism and occurrence of immature hydrocarbon[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995.
- [18] 王铁冠,钟宁宁,熊波,等.源岩生烃潜力的有机岩石学评价方法[J].石油学报,1994,15(4):9-16.  
WANG Tieguan, ZHONG Ningning, XIONG Bo, et al. Organic petrologic methodology for evaluation of hydrocarbon generation potential in source rocks[J]. Acta Petrologica Sinica, 1994, 15(4): 9-16.
- [19] 谭元隆,王宗秀,冯兴强,等.复杂构造区油气构造保存条件分析:来自皖泾地1井的构造解析[J].地质力学学报,2021,27(3):441-452.  
TAN Yuanlong, WANG Zongxiu, FENG Xingqiang, et al. Structural preservation conditions analysis of oil and gas in complex structural area: A case study of structural analysis in the Well Wanjingdi-1, Anhui, China[J]. Journal of Geomechanics, 2021, 27(3): 441-452.
- [20] 范卓颖,林承焰,鞠传学,等.塔河油田二区奥陶系优势储集体特征及控制因素[J].吉林大学学报(地球科学版),2017,47(1):34-47.  
FAN Zhuoying, LIN Chengyan, JU Chuanxue, et al. Characteristics of Middle Ordovician reservoir rocks in Block Two of Tahe Oilfield[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2017, 47(1): 34-47.