

# 下扬子地区下寒武统荷塘组 泥页岩地质特征与勘探前景

——以浙西江山—桐庐地区为例

朱文博<sup>1,2</sup>, 张训华<sup>3</sup>, 王修齐<sup>1</sup>, 曲中党<sup>1</sup>, 黄正清<sup>2</sup>, 周道容<sup>2</sup>

(1. 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266100; 2. 南京地质调查中心, 南京 210016;  
3. 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071)

**摘要:**以往研究认为下扬子地区下寒武统暗色泥岩热演化程度普遍过高, 制约了油气成藏, 最新野外调查发现浙西江山—桐庐地区存在热演化程度相对较低的区域。围绕该相对低值区域, 以浙西区域地质调查资料、最新钻探的井下资料分析结果为基础, 分析了江山—桐庐地区下寒武统荷塘组地质地化特征及页岩气勘探前景。该区荷塘组处于有利沉积相带内(深水盆地—陆棚相), 具有沉积厚度大、有机质丰度高、热演化程度相对较低、脆性矿物含量高、黏土矿物含量适中、微孔隙微裂缝较发育等特点, 认为该区具有较好的成藏物质基础。并以“高中找厚”(寻找高有机质丰度泥页岩沉积较厚区域)、“高中找低”(在普遍高热演化程度环境中寻找较低值区域)、“强中找稳”(在强构造背景中寻找地层稳定、埋藏较深区域)为原则, 同时避开岩体以及岩浆活动较强烈的区域, 优选出常山—开化地区为页岩气有利勘探区。

**关键词:**地化特征; 储层特征; 勘探有利区; 荷塘组; 下扬子地区; 页岩气

中图分类号: TE135

文献标识码: A

## Geological characteristics and shale gas potential of Lower Cambrian Hetang Formation in Lower Yangtze region: a case study of Jiangshan-Tonglu area, western Zhejiang province

ZHU Wenbo<sup>1,2</sup>, ZHANG Xunhua<sup>3</sup>, WANG Xiuqi<sup>1</sup>, QU Zhongdang<sup>1</sup>, HUANG Zhengqing<sup>2</sup>, ZHOU Daorong<sup>2</sup>

(1. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266100, China;  
2. Nanjing Geological Survey Center, Nanjing, Jiangsu 210016, China;  
3. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, Shandong 266071, China)

**Abstract:** The high degree of thermal evolution is a main factor restricting the development of the Lower Paleozoic shale gas in the Yangtze region. The latest field study shows that there is a region with relatively lower thermal evolution in the Jiangshan-Tonglu area in western Zhejiang province. Centering on the lower thermal evolution area, this paper analyzes the geological and geochemical characteristics of the Lower Cambrian Hetang Formation, based on the regional geological survey of the western Zhejiang province and the latest borehole data analysis. The study area is located in a good sedimentary facies belt (basin-shelf facies), with a large deposition thickness, and a high organic matter abundance. While the thermal evolution degree is relatively low, with high brittle mineral content and moderate clay mineral content. And micro-pores and micro-fractures are well developed. The study area has a good material basis for accumulation. The Changshan-Kaihua area has been identified as the most favorable area for shale gas exploration on the basis of considering a thick shale deposit with high organic matter abundance, relatively low thermal evolution, stable tectonic background and deeply buried area, while avoiding the areas with relatively strong igneous activity.

**Key words:** geochemical characteristics; reservoir property; favorable exploration area; Hetang Formation; Lower Yangtze region; shale gas

收稿日期: 2020-01-24; 修订日期: 2020-04-17。

作者简介: 朱文博(1990—), 男, 博士研究生, 从事地球物理及页岩气成藏研究。E-mail: zhuwenbo\_2012@163.com。

通信作者: 张训华(1961—), 男, 研究员, 博士生导师, 从事构造地质、综合地球物理研究。E-mail: xunhuazh611102@sina.com。

基金项目: “十三五”国家科技重大专项(2016ZX05034-001-003)和中央财政二级项目(DD20190083)联合资助。

近年来,页岩气的勘探与开发在国内外均取得了巨大进展,如美国的 Barnett、Haynesville、Marcellus、Utica 等一批页岩气田相继得到开发<sup>[1-3]</sup>,国内在中上扬子地区相继发现了涪陵、长宁、昭通、威远等页岩气田<sup>[4-5]</sup>。下扬子地区与上扬子地区相比,具有统一的构造动力学背景、相似的沉积—构造演化过程以及富有机质泥页岩发育层位<sup>[6]</sup>,但一直未获得油气突破。

下寒武统荷塘组(苏北地区为幕府山组)是下扬子地区富有机质泥页岩主要层系,受“一台两盆”的构造格局影响,主要分布在苏北、皖南、浙西地区<sup>[7]</sup>。针对浙西地区,前人研究认为沉积厚度大、有机质丰度高(平均为 4.5%),但热演化程度过高, $E_{qVR_0}$  介于 3.0%~4.94% 之间,处于过成熟—准变质阶段,严重制约油气成藏<sup>[8-10]</sup>。本次研究通过野外剖面露头采样取得新进展,在浙西江山—开化地区发现热演化相对较低区域。本文围绕低热演化区,以浙西区域地质调查资料、最新钻探的井下资料为基础,从沉积展布特征,有机质丰度、类型、成熟度、稀土元素等地化特征,矿物组成、孔隙度、渗透率等物性特征,重新对江山—桐庐地区下寒武统荷塘组的页岩气成藏基础与勘探前景进行探讨。

### 1 地质构造背景

江山—桐庐地区处在浙江省西北部,在构造区划上属于下扬子地块钱塘拗陷,南以江山—绍兴断

裂为界,北以天目山—白际山断裂为界(图 1a)。浙西地区早晋宁期构造旋回以 NEE 方向的紧密线型褶皱构造变形为特征;晋宁构造旋回以 NE 向宽缓型褶皱为特点,两者构造线具微小的交角。华力西—印支旋回形成 NE 向紧密线型褶皱构造及伴随产生的走向断层。印支期及燕山早期,断层承袭了基底剪切性断裂方向呈 NE 向,部分为 EW 向或 NW 向;至燕山晚期,断裂向 NNE 转变,同时 NW 及 NE 走向断裂也得到发育;喜马拉雅期,除早期断裂继续活动外,还形成了 SN 向断裂<sup>[11]</sup>。

在地层上,以江山—绍兴拼合带为界线,浙西北地区属于江南地层大区,浙东南地区属于华南地层大区<sup>[11]</sup>。下寒武统荷塘组为静水滞留盆地沉积的含磷碳硅质岩,下段为硅质页岩、黑色碳质页岩夹石煤层,含磷结核及少量黄铁矿结核;中段为灰至灰黑色薄层灰岩,含磷白云质灰岩夹钙质页岩;上段为灰色薄层白云岩、条带状白云质灰岩夹泥质灰岩(图 1b)。以石煤层与下伏灯影组或皮园村组呈整合或平行不整合接触,整体层厚约 30~370 m。中、上寒武统总体以白云质灰岩、条带状灰岩及透镜状泥质灰岩为主,富产球接子化石。

### 2 泥页岩沉积特征

本文通过对浙西北地区的江山荷塘村、开化胡坑、淳安显后等 10 条下寒武统野外露头剖面以及 2 口地质调查井(CY1、ZJD1)分析,结合区域构造和沉积地层分布特征,确定了下寒武统荷塘组古地

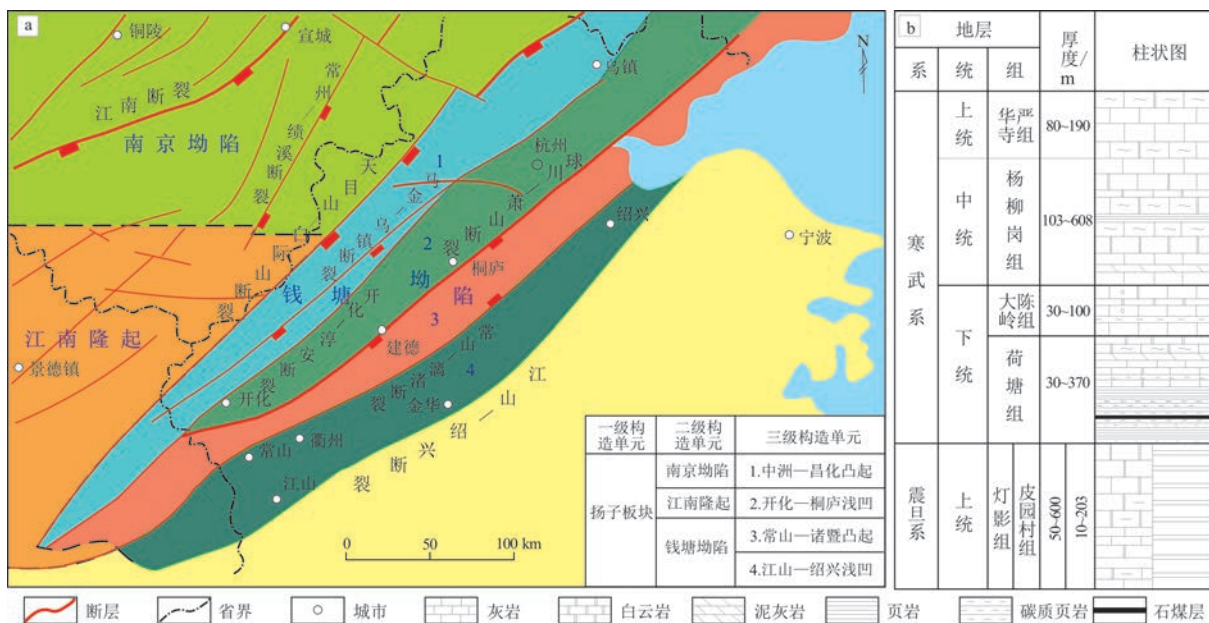


图 1 下扬子浙西地区构造单元划分及地层柱状图

Fig.1 Tectonic units and lithological column of western Zhejiang province, Lower Yangtze region



理环境及暗色泥页岩的展布特征(图2)。

### 2.1 岩相古地理特征

早寒武世荷塘期浙西地区处于海侵时期,海水浸没到江山—绍兴和杭州—嘉兴一带,整体由西南向东北方向变浅。该时期研究区的沉积环境大体为静水滞留还原环境,为一套深水盆地—陆棚相沉积<sup>[12]</sup>。

其中,深水盆地相呈 NEE 向展布,沉积沉降中心位于开化阳坑、安吉杭垓、临安姚家岭一带,沉积物以含“石煤层”、磷结核等黑色碳质页岩、硅质页岩夹少量白云质灰岩为特征。盆地南面由于受宜春—江山—绍兴张性断裂的影响,形成江南水下隆起和江山—桐庐—浦江水下隆起,对盆地水流的循环及外海洋流起到了一定的阻挡作用,造成菌藻类大量繁殖,故浙西区域早寒武世早期普遍发育含“石煤”暗色岩系。

陆棚相位于杭嘉湖、江山—兰溪一带,沉积厚度小于 100 m,最薄仅十余米,根据沉积物的不同可划分为碳酸盐岩陆棚和碎屑岩陆棚。碳酸盐岩

陆棚沉积物一般为深灰色泥岩夹灰岩、灰岩夹钙质泥岩或白云质泥岩与白云岩互层,水平纹层发育,水深较浅,主要分布在江山—兰溪一带;碎屑岩陆棚沉积物一般为碳质泥岩、泥页岩夹砂质页岩或钙质页岩,生物以游泳、飘浮型三叶虫为代表,主要分布在建德、富阳一带。其中水下隆起衢县志棠、建德、富阳一带为水下砂坝,厚 60~85 m,下部为粉砂岩、石英细砂岩,向上逐渐变粗。

### 2.2 展布特征

江山—桐庐地区荷塘组暗色泥页岩厚度在 20~440 m,整体由南东向北西逐渐增厚。南部江山—兰溪及富阳—临安一带厚度最薄,一般约 20~50 m,且大部分缺失,局部地区只有 10 余米;中部常山—桐庐一带厚度增大,约在 100~200 m;开化—淳安以北地区沉积最厚,基本在 200 m 以上,最厚处可达 400 余米,主要为深水盆地沉积(图2)。

从露头剖面及井剖面来看(图3),横向上研究区自北西向南东及南西向北东泥质、硅质含量减

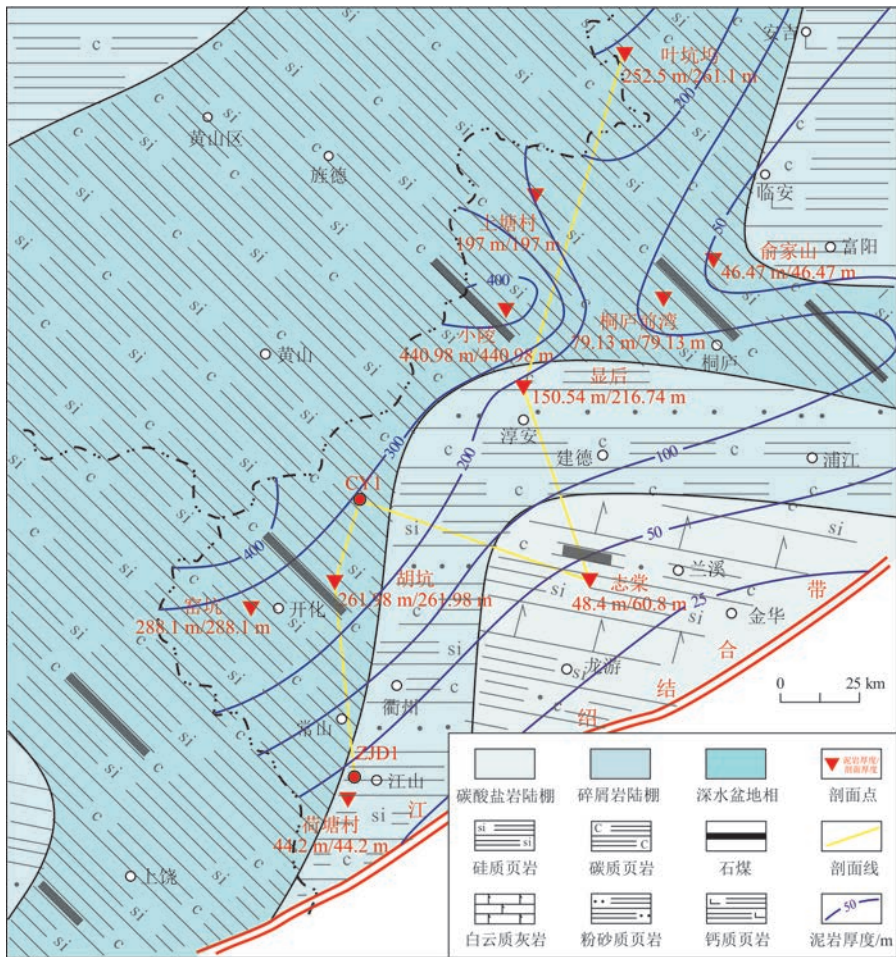


图2 浙西江山—桐庐地区荷塘组沉积时期岩相古地理

Fig.2 Sedimentary facies distribution of Hetang Formation in Jiangshan-Tonglu area, western Zhejiang province

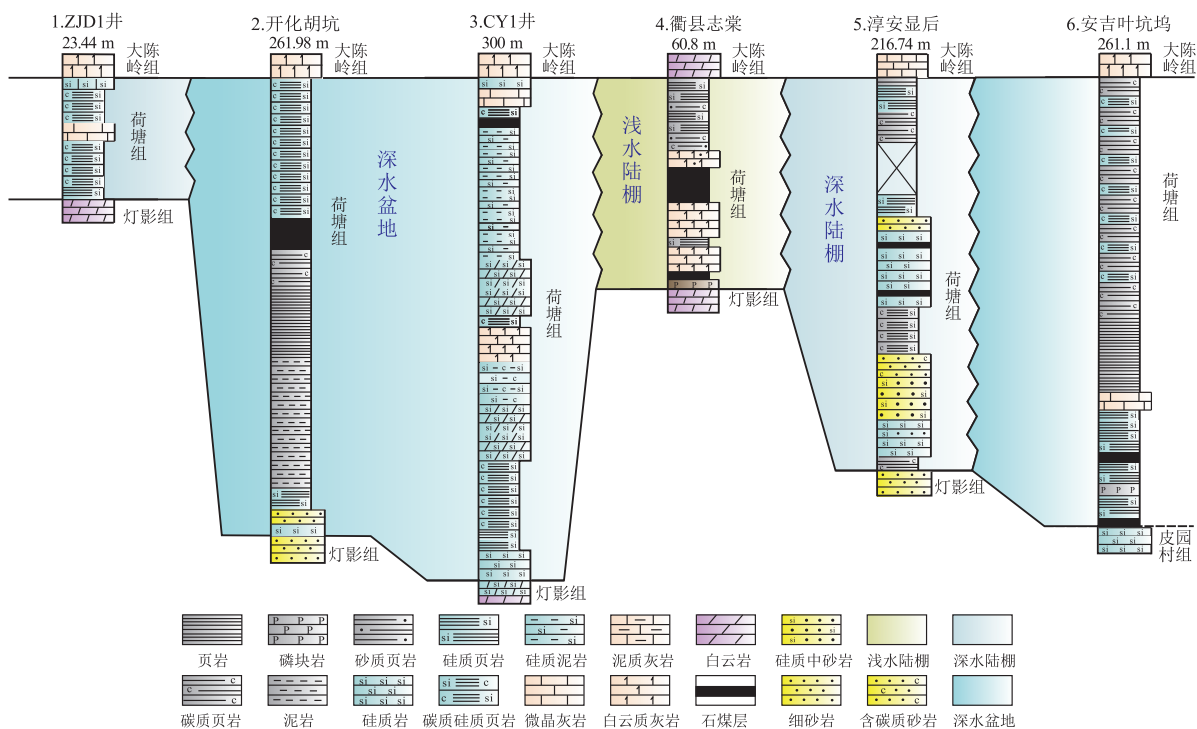


图 3 浙西江山—桐庐地区地层柱状剖面

图中纵坐标未按比例尺绘制,荷塘组地层厚度以图上标注数据为准。

Fig.3 Stratigraphic columns of Jiangshan-Tonglu area, western Zhejiang province

少,钙质、白云质含量增加,沉积厚度逐渐变小,表明水体逐渐变浅。

### 2.3 沉积环境分析

海相沉积物沉积过程中,细粒沉积物中稀土元素可较好地保留沉积物源区的物源特征及古沉积环境信息,稀土元素含量以及它们之间的分馏差异被广泛应用于沉积岩的物源追溯、古气候与环境演化、沉积介质、构造背景分析及沉积成矿作用等方面的研究<sup>[13]</sup>。

本次稀土元素测试样品 20 个,地表样品 5 个,岩心样品 15 个。研究区稀土元素总含量  $\Sigma REE$  (不含 Y 元素)介于  $(39.64 \sim 321.22) \times 10^{-6}$ ,均值为  $105.73 \times 10^{-6}$  (低于上地壳的  $146 \times 10^{-6}$ );轻重稀土比值  $(\Sigma LREE/\Sigma HREE)$  较大,介于 4.13 ~ 17.21 之间,均值为 8.54 (表 1),显示轻重稀土分馏程度较高,较北美黑色页岩比值 7.5 大,为陆源物质沉积特征<sup>[14]</sup>。

由图 4a 可以看出各样品曲线形态较统一且呈右倾趋势。 $(La/Yb)_s$  值在 4.56 ~ 20.15 之间,均值为 9.15,呈现出轻稀土元素富集、重稀土元素严重亏损的特征;指示轻稀土之间分馏程度的  $(La/Sm)_s$  值在 3.00 ~ 5.43 之间,表明轻稀土元素分馏程度高,而重稀土元素段曲线较为平坦,说明其分馏程度较低。图 4b 的各曲线较为平坦,  $(La/Yb)_N$  在 0.62 ~

2.74 之间,具幅度不大的右倾或呈现帽状,同时具有轻微的 Ce 负异常和较明显的 Eu 正异常,反映出稀土元素具有轻稀土富集、重稀土含量稳定及非正常海相沉积的特征<sup>[15]</sup>;  $(La/Sm)_N$  在 0.90 ~ 1.62 之间,均值 1.15 (大于 1),表明成岩物质有幔源或深部物质的加入<sup>[16]</sup>。

值得注意的是  $\delta Eu$  值在 0.19 ~ 3.78 之间,均值 1.21,总体表现为正异常。前人研究  $\delta Eu$  值正异常主要受海底热液影响,当海相沉积过程中有较高温和强还原性的热液加入时,其中的  $Eu^{2+}$  可稳定存在从而造成正异常<sup>[17]</sup>。

总体而言,江山—开化区域的荷塘组暗色泥岩形成于浅水陆棚或深水陆棚相沉积环境中,沉积及成岩过程中有热水作用的参与,并且在开化西南部热液活动较为强烈。

## 3 泥页岩有机地化特征

### 3.1 有机质类型

有机质的成因类型是影响其生烃潜力、产气规模及组成的重要因素<sup>[18]</sup>。浙西地区由于较高的热演化程度,对干酪根元素的组成、红外官能团的结构性质判别有很大影响,故采用受其影响较小的干酪根显微组分镜检指标。根据收集到的浙西地区荷塘组页岩的干酪根类型 *TI* 指数数据<sup>[10]</sup>,按干酪

表1 浙西江山—开化地区荷塘组稀土元素分析结果

Table 1 REE analyses of Hetang Formation in Jiangshan–Kaihua area, western Zhejiang province

采样地区	样品	$\Sigma REE/10^{-6}$	$\Sigma LREE/10^{-6}$	$\Sigma HREE/10^{-6}$	$\Sigma LREE/\Sigma HREE$	$(La/Sm)_S$	$(La/Yb)_S$	$(La/Sm)_N$	$(La/Yb)_N$	$\delta Ce$	$\delta Eu$
开化十里浦	L2D002-2	105.52	99.72	5.79	17.21	5.43	20.15	1.62	2.74	0.92	3.78
开化大山坞	L3D001-1	106.55	99.84	6.72	14.87	5.28	13.23	1.58	1.80	0.71	1.30
	L3D001-2	102.07	95.28	6.79	14.03	5.41	14.85	1.62	2.02	0.85	2.44
常山白石镇	L4D009	122.89	111.04	11.85	9.37	3.66	9.30	1.09	1.27	0.92	1.12
	L4D010	39.64	34.26	5.38	6.37	5.20	7.54	1.55	1.03	0.84	1.27
ZJD1 井	ZJD-1	107.22	94.88	12.34	7.69	3.58	7.78	1.07	1.06	0.91	0.72
	ZJD-2	61.39	54.21	7.18	7.55	3.11	7.84	0.93	1.07	0.93	1.30
	ZJD-3	67.81	60.25	7.56	7.97	3.00	8.31	0.90	1.13	0.93	1.16
	ZJD-4	74.54	65.85	8.69	7.58	3.31	8.03	0.99	1.09	0.92	1.07
	ZJD-5	103.46	92.01	11.45	8.04	3.48	8.60	1.04	1.17	0.92	0.80
	ZJD-6	128.74	114.54	14.20	8.07	3.95	9.01	1.18	1.23	0.88	0.70
	ZJD-7	140.30	125.23	15.07	8.31	3.33	9.52	1.00	1.30	0.92	0.57
	ZJD-8	91.04	80.87	10.17	7.95	3.58	8.68	1.07	1.18	0.93	0.93
	ZJD-9	76.97	68.22	8.75	7.80	3.89	7.90	1.16	1.08	0.91	1.18
	ZJD-10	65.76	58.02	7.74	7.50	3.38	7.54	1.01	1.03	0.93	1.36
	ZJD-11	60.83	53.93	6.90	7.82	3.35	7.96	1.00	1.08	0.92	1.39
	ZJD-12	49.99	43.61	6.38	6.84	3.54	7.52	1.06	1.02	1.01	1.70
	ZJD-13	179.24	156.36	22.88	6.83	4.45	8.94	1.33	1.22	0.85	0.50
	ZJD-14	321.22	258.58	62.64	4.13	3.24	5.80	0.97	0.79	0.49	0.19
	ZJD-15	109.41	90.52	18.89	4.79	3.05	4.56	0.91	0.62	0.72	0.69

注:下标 S 表示球粒陨石标准化,下标 N 表示北美页岩标准化<sup>[13]</sup>;  $\delta Ce = 2Ce_S / (La_S + Pr_S)$ ,  $\delta Eu = Eu_S / (Sm_S + Gd_S)^{0.5}$ 。

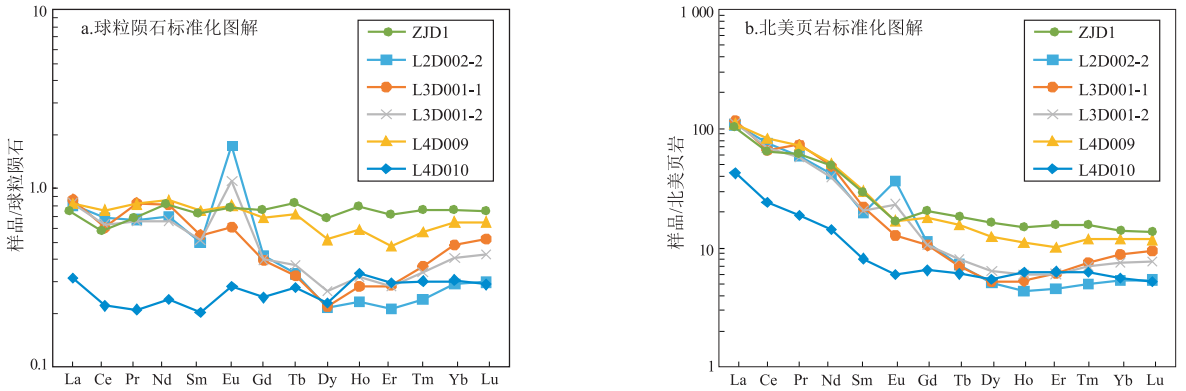


图4 浙西江山—开化地区荷塘组样品稀土元素配分模式

Fig.4 REE distribution of Hetang Formation in Jiangshan–Kaihua area, western Zhejiang province

根划分标准进行统计,总体上,研究区荷塘组干酪根以 I 型为主,其次为 II<sub>1</sub>型和 II<sub>2</sub>型,主要为腐泥组,平均占 78.57%;少量为固体沥青,平均占 20.38%;壳质组、镜质组、惰质组与动物有机碎屑平均含量都在 1% 以下。

### 3.2 有机质丰度

有机质丰度是评价勘探区页岩气成藏的主要因素,评测指标主要包括有机碳含量、生烃潜量和氯仿沥青“A”<sup>[19]</sup>。由于目标地层普遍达到了过成熟演化阶段,造成残留氯仿沥青“A”含量及生烃潜量普遍过低,生烃潜量介于 0.022~0.436 mg/g,不能准确反映其生烃能力,故本文主要采用有机碳含

量进行评价。

本次研究共采集样品 47 件,其中 TOC 测试样品 39 件,收集数据点 4 处。测试结果(表 2)分析表明,下寒武统荷塘组泥页岩 TOC 含量在 0.36%~23.52%,平均为 5.84%,大部分样品大于 2%,只有 5 个样品数值在 2% 之下。

TOC 测试样品岩性主要为碳质页岩、硅质泥岩、硅质碳质页岩、钙质泥岩,其次为硅质灰岩、硅质页岩和硅质岩。其中碳质页岩样品 12 个,TOC 含量变化较大,介于 1.48%~23.52%,平均 6.67%;硅质泥岩样品 12 个,TOC 含量在 2.97%~16.93%,平均 6.06%;硅质碳质页岩样品 6 个,TOC 含量最大,在



表 2 浙西江山—桐庐地区荷塘组泥页岩有机碳含量和成熟度数据

Table 2  $w(\text{TOC})$  and  $R_o$  data of shale from Hetang Formation in Jiangshan-Tonglu area, western Zhejiang province

序号	样品编号	岩性	$w(\text{TOC})/\%$	$R_b/\%$	$EqVR_o^{[20]}/\%$	序号	样品编号	岩性	$w(\text{TOC})/\%$	$R_b/\%$	$EqVR_o/\%$
1	JH02	硅质碳质页岩	9.75	4.52	3.39	25	L4D009	碳质页岩	1.48	2.87	2.27
2	JH10	硅质碳质页岩	2.83	4.29	3.23	26	L4D010	硅质泥岩	3.76	3.12	2.44
3	JH13	硅质碳质页岩	15.30	4.37	3.29	27	Khmk-01	碳质页岩		3.99	3.03
4	JH14	硅质碳质页岩	13.23	3.74	2.86	28	Khmk-02	碳质页岩		4.68	3.50
5	JH16	钙质泥岩	0.64	4.61	3.45	29	Khmk-03	碳质页岩		3.15	2.46
6	JH17	硅质碳质页岩	2.86	4.53	3.40	30	Khmk-04	碳质页岩		4.70	3.51
7	JH18	碳质页岩	2.37	3.71	2.84	31	Khmk-05	碳质页岩		3.90	2.97
8	JH20	碳质页岩	4.09	2.85	2.25	32	Khmk-06	碳质页岩		4.93	3.67
9	JH30	碳质页岩	4.87	4.35	3.27	33	ZJD-1	硅质泥岩	3.13	4.27	3.22
10	JH32	碳质页岩	4.55	4.13	3.12	34	ZJD-2	硅质泥岩	3.52	3.56	2.74
11	JH37	碳质页岩	2.82	4.19	3.16	35	ZJD-3	硅质泥岩	3.51	3.48	2.68
12	JH41	钙质泥岩	0.79	4.66	3.48	36	ZJD-4	硅质泥岩	3.57	3.76	2.87
13	JH42	碳质页岩	6.00	4.32	3.25	37	ZJD-5	硅质灰岩	1.93	4.12	3.12
14	JH43	碳质页岩	18.60	4.74	3.54	38	ZJD-6	硅质灰岩			
15	JH45	钙质泥岩	8.94	4.11	3.11	39	ZJD-7	硅质灰岩	2.76	9.71	2.84
16	JH46	硅质碳质页岩	5.18	4.31	3.25	40	ZJD-8	硅质灰岩			
17	JH48	钙质泥岩	0.36	3.79	2.89	41	ZJD-9	黑色硅质泥岩	2.97		
18	JH49	硅质岩	3.78	4.43	3.33	42	ZJD-10	黑色硅质泥岩	3.33	4.07	3.08
19	JH50	碳质页岩	4.61	4.32	3.25	43	ZJD-11	黑色硅质泥岩	3.57		
20	JH52	碳质页岩	3.34	3.82	2.91	44	ZJD-12	黑色硅质泥岩	5.22	3.80	2.90
21	JH53	碳质页岩	23.52	4.65	3.48	45	ZJD-13	黑色硅质泥岩	16.93	3.76	2.87
22	JH58	碳质页岩	3.83	4.69	3.50	46	ZJD-14	黑色硅质泥岩	9.56	3.73	2.85
23	L2D002	硅质页岩	2.99	3.28	2.55	47	ZJD-15	黑色硅质泥岩	13.67	3.71	2.84
24	L3D001	硅质页岩	3.43	4.44	3.33						

注： $R_b$ 为沥青随机反射率， $EqVR_o$ 为等效镜质体反射率， $EqVR_o = 0.679R_b + 0.3195^{[20]}$ 。

2.83% ~ 15.3%，平均 8.19%；钙质泥岩样品 4 个，TOC 含量最小，范围 0.36% ~ 8.94%，平均 2.68%。可见江山—桐庐地区下寒武统荷塘组为一套富含有机质的泥页岩层系，具有形成页岩气藏的物质基础。研究区内有机碳含量高值区 ( $w(\text{TOC}) > 4\%$ ) 位于常山—淳安一带，属于深水盆地—深水陆棚相

带内，尤其是衢州北部、淳安西部具有很好的生气基础；低值区 ( $w(\text{TOC}) < 2\%$ ) 位于研究区的东部及东北部，属于浅水陆棚至局限台地相带 (图 5a)。

### 3.3 热演化程度

镜质体反射率是目前国际上通用可对比的成熟度指标。在南方早古生代地层中，由于高等植

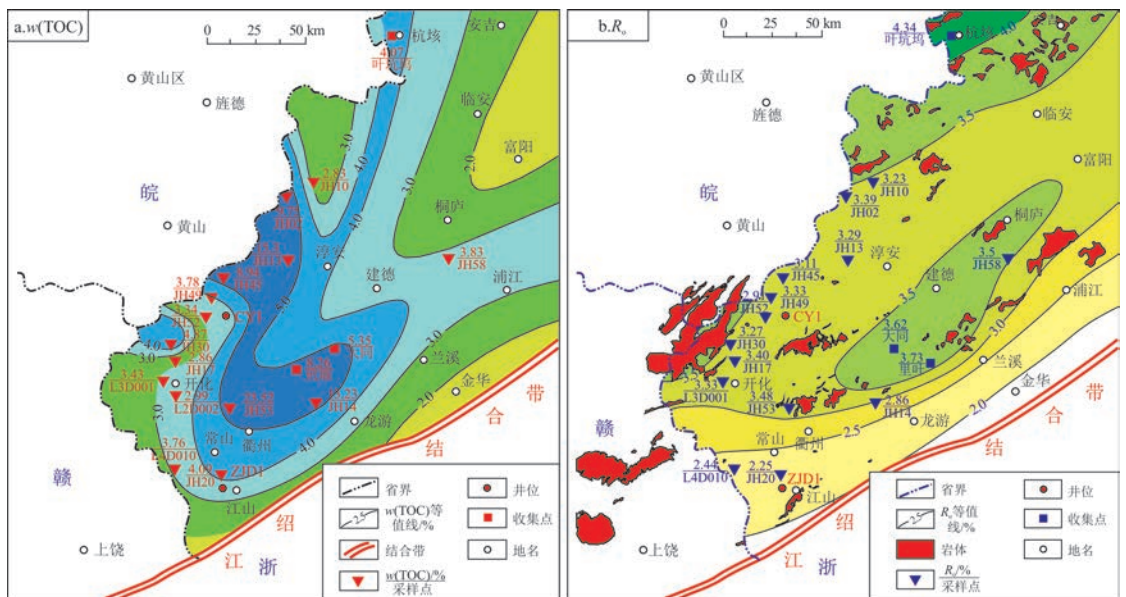


图 5 浙西江山—桐庐地区早寒武世荷塘期 TOC 和  $R_o$  展布

Fig.5  $w(\text{TOC})$  and  $R_o$  distribution of Lower Cambrian Hetang Formation in Jiangshan-Tonglu area, western Zhejiang province

物的缺乏,造成镜质体稀少缺失,常用固体沥青反射率  $R_o$  来代替镜质体反射率进行评价。本次热演化测试样品 43 个(表 2),收集数据点 4 处。结果表明,江山—桐庐地区荷塘组泥页岩  $E_qVR_o$  在 2.25%~3.67%,平均为 3.07%。可知研究区荷塘组泥页岩的热演化程度均处于过成熟阶段。对比国内外页岩气开发实践,具商业开发价值的页岩气层系  $R_o$  在 1.1%~3.0%之间<sup>[4, 21]</sup>,当页岩的  $R_o > 3%$  时,有机质会出现碳化现象,页岩吸附能力明显下降<sup>[22]</sup>。因此有利区域  $R_o$  值应尽量限制在 3% 以内。

浙西地区主要受加里东、印支以及燕山这 3 次构造活动的影响。进入加里东构造期以来研究区处于持续沉积阶段,沉积厚度普遍超过 6 km,至晚奥陶世,随着华夏江南隆起的抬升,沉积中心向北迁移且范围缩小。研究区盆地相区荷塘组大致在早中奥陶世开始生油,晚奥陶世—早志留世进入生油高峰,早志留世—晚志留世生油结束,进入湿气或干气保存期;研究区南部以及东北部的水下隆起区成熟时间为中晚奥陶世至早志留世,在中晚志留世进入生油高峰,生油在泥盆纪结束(埋深约 4 300 m)。印支运动以大规模的褶皱回返为特征,使地壳上升,奠定了浙西总的构造格局。燕山运动以断裂和岩浆活动为主,尤其是晚侏罗世时,沿马金—乌镇断裂和深部隆起区(东部)有大规模的火山喷

发和中酸性岩浆侵入,对周围区域古生界黑色岩系的热演化程度有很大影响。江山—常山地区荷塘组历史埋藏相对较浅,并且受燕山期岩浆活动影响较少,从热演化程度展布上看是研究区内的低值中心,为勘探较为有利的区域(图 5b);成熟度向北及北东向逐渐增高,高值区位于建德及杭垓一带。

## 4 泥页岩储层特征

### 4.1 矿物组成特征

江山—开化地区荷塘组泥页岩的主要矿物为石英(均值 59.7%)、黏土矿物(均值 16.6%)、长石(均值 5.1%,其中钾长石 0%~22%,斜长石 0%~7%)、碳酸盐矿物(均值 5.5%),其中石英含量最高,部分含有少量菱铁矿(表 3)。研究区内脆性矿物为石英、长石,含量 41.5%~75.1%,在页岩气开发中具有良好的脆性和可压性,利于页岩储层物性的改善<sup>[23]</sup>。泥页岩黏土矿物组成以伊利石(均值 41.6%)、伊/蒙混层(均值 55.6%)为主,含少量高岭石、绿泥石(开化附近高岭石含量较高),不含蒙脱石,表明泥页岩已到晚成岩作用晚期,与热演化程度相符,为过成熟阶段。

### 4.2 储集空间及物性特征

孔隙类型、孔隙结构及其连通性是评价页岩气储层物性的关键因素,本次研究采用有机质孔、粒

表 3 浙西江山—开化地区荷塘组泥页岩主要矿物及黏土矿物组分

Table 3 Mineral and clay components of Hetang Formation in Jiangshan-Kaihua area, western Zhejiang province

样品	矿物组分/%								黏土组分/%						
	石英	PF	PL	Cal	Dol	Py	Sid	黏土	I	K	C	L/S	C/S	IS	CS
L2D002-2	46	22	0	0	2		2	28	71	23	0	6	0	5	0
L3D001-1	56	3	4	2	0		0	35	87	0	0	13	0	40	0
L3D001-2	7	21	7	7	0		0	15	0	0	2	98	0	5	0
L4D009	49	2	0	2	0		0	22	24	8	1	67	0	5	0
L4D010	67	3	0	17	3		2	8	12	5	7	76	0	5	0
ZJD-1	35.6	5.2	0.7	0.6	8.7	10	0	20	48	0	0	52	0	5	0
ZJD-2	68.4	1.4	0	3.4	4.5	2.2	0	11.6	43	0	0	57	0	5	0
ZJD-3	72.5	2.6	0	3.1	3.2	6.5	0	6.9	41	0	0	59	0	5	0
ZJD-4	64.3	2.4	0	3.7	5.7	5	0	18.9	36	0	0	64	0	5	0
ZJD-5	58.3	1.7	0	12.9	8.1	4.1	0	14.9	37	0	0	63	0	5	0
ZJD-6	56.6	2.2	0	14.5	3.9	6.4	0	14.5							
ZJD-8	54.2	0	0	6.7	13.1	5.4	0	20.6	40	0	0	60	0	5	0
ZJD-9	68.1	2.7	0	3.2	6	5.9	0	14.1	41	0	0	59	0	5	0
ZJD-10	69.7	1.5	0	5.8	7.1	3.3	0	12.6	45	0	0	55	0	5	0
ZJD-11	66.1	1.4	0	7.6	6.9	5.9	0	12.1	42	0	0	58	0	5	0
ZJD-12	71.5	0	0	6.3	5.2	2.8	0	12.1	59	0	0	41	0	5	0
ZJD-14	61.6	4.7	0	0.5	1.9	7.4	4.3	15.2	47	0	0	53	0	5	0
ZJD-15	61.9	2.5	0	0.5	6.4	8.2	0	16.5	35	0	0	65	0	5	0

注:PF.钾长石,PL.斜长石,Cal.方解石,Dol.白云石,Py.黄铁矿,Sid.菱铁矿,I.伊利石,K.高岭土,C.绿泥石,S.蒙脱石,L/S.伊/蒙混层,C/S.绿/蒙混层,IS.伊蒙混层比,CS.绿蒙混层比。

内孔、粒间孔、微裂隙来描述页岩储集空间<sup>[24]</sup>。

从 ZJD-1 井及江山地区野外露头样品扫描电镜图像可见(图 6),本区荷塘组泥页岩 2 大类型孔隙均发育。结合岩心观察,其页理、节理较为发育,普遍见张裂缝,被方解石半充填或全充填(图 6a, b)。微裂缝在扫描电镜下大量发育(图 6c-e),连通性较好,开度变化较大,部分被矿物充填,有利于游离气的储存并可提高储层渗透性。裂隙中充填大量黄铁矿、石英、有机质与片状伊利石,并可见较多溶蚀微孔。微孔隙以纳米—微米级孔隙为主,以 0.1~2.0 μm 孔隙为主;无机孔以粒间孔为主,发育有矿物粒间孔、晶间孔隙、黏土矿片间孔隙与粒间溶蚀孔(图 6f-h),粒间孔隙发育集中,数量较多,吸附性较强;粒内孔主要为片状黏土矿物粒内孔、矿物表面孔、球粒状黄铁矿内部孔隙(图 6e-f),分布较零散,孔隙间不连通。

值得注意的是,在浙西地区有机质孔发育具有差异性。与常山地区样品有机质孔大量发育不同<sup>[25]</sup>,江山地区样品总体有机质孔欠发育或发育

孔径很小(多小于 20 nm),其原因可能与其有机质赋存形式以及靠近江绍结合带有关。游离有机质所形成的纯有机质体未能受到黏土骨架的保护(图 6f),即使包裹黏土矿物也由于遭受了强烈的挤压,使得有机质孔孔径变小甚至可能消失(图 6i)<sup>[26]</sup>。

江山地区处于江绍断裂带周缘,较强的构造改造作用使得微裂缝普遍发育的同时,又抑制了有机质孔的发育。北部的常山—开化地区构造保存条件较好,虽会在一定程度上影响无机孔隙以及微裂缝系统的发育,但有机质孔的大量发育更加有利于吸附气的富集。浙西地区下寒武统荷塘组普遍处于过成熟阶段,在经历相比中上扬子更为复杂强烈的构造改造作用后,寻找常规的游离气聚集气藏并不现实,但以吸附态为主的成藏还有一定的可能性,这就要求利于页岩气吸附的微孔隙大量发育,而利于运移的微裂缝较少发育。因此,储集物性有利区域要向北寻找埋藏较深、构造改造作用较弱区域。

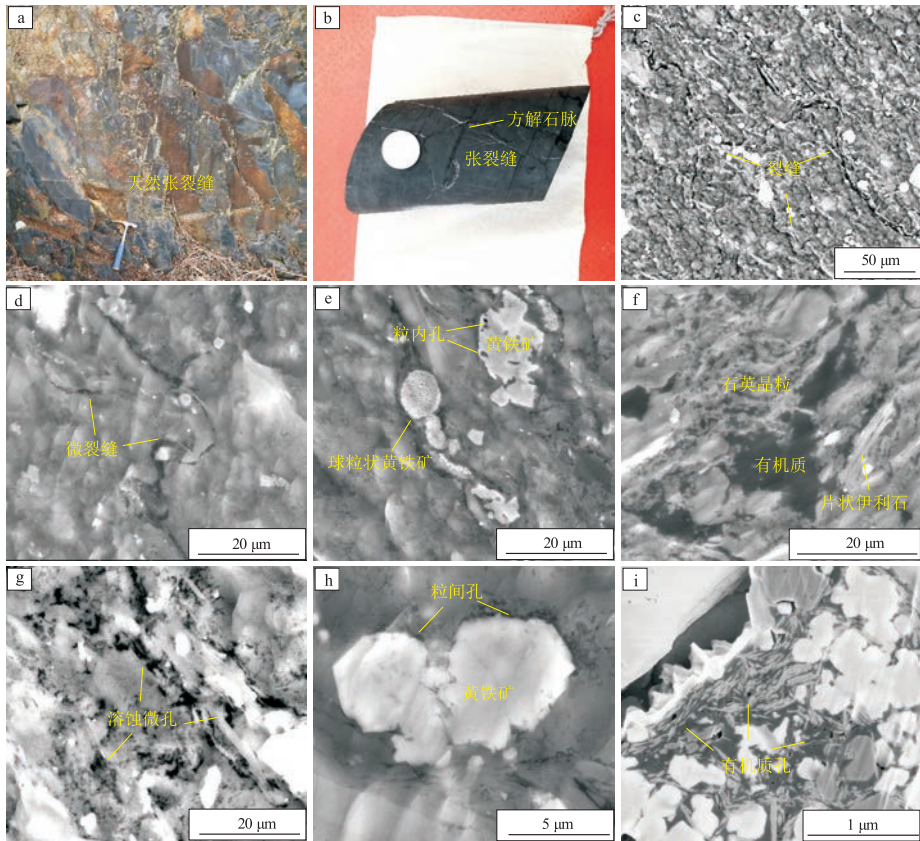


图 6 浙西江山地区荷塘组泥页岩孔隙结构特征

a.野外天然张裂缝发育;b.普遍见张裂缝,被方解石半或全充填,ZJD-1 井岩心;c.裂缝发育(背散射电子图像),ZJD-1 井,620.3 m;d.成岩收缩缝及微裂缝,ZJD-1 井,620.3 m;e.裂缝和孔隙中充填黄铁矿,发育少量微米级粒内孔,ZJD-1 井,620.3 m;f.孔隙中充填石英晶粒、有机质、片状伊利石,晶间孔、粒间孔较发育,ZJD-1 井,639.2 m;g.溶蚀微孔较发育,ZJD-1 井,620.3 m;h.微缝隙分布,局部发育粒间孔,ZJD-1 井,620.3 m;i.有机质包裹黏土矿物,有机质孔发育较少,后岭坞露头样品

Fig.6 Pore structure in shale from Hetang Formation in Jiangshan area, western Zhejiang province



## 5 页岩气勘探前景及风险

### 5.1 勘探前景

从基本地质特征评价页岩气远景区主要包括6个因素:沉积环境、厚度、有机地球化学、热演化程度、矿物组成及孔隙度<sup>[27]</sup>。江山—桐庐地区下寒武统荷塘组泥页岩处于有利沉积相带内,具有厚度较大、有机质丰度高、脆性矿物含量高、黏土矿物含量适中优势,同时也具有热演化程度高、构造保存条件复杂等劣势。通过与美国以及中上扬子主要产气页岩特征相对比(表4),认为本区具有较好的成藏物质基础,可进一步进行勘探开发研究。

我国下扬子区域下古生界海相页岩经过多期构造运动,普遍具有构造保存条件复杂、热演化程度过高的问题。因此在选区时应本着3个原则:(1)“高中找厚”:寻找高有机质丰度泥页岩沉积较厚区域;(2)“高中找低”:在普遍高热演化程度环境中寻找热演化程度较低值区域;(3)“强中找稳”:在强构造背景中寻找地层较稳定、埋藏较深区域。结合我国海相页岩气有利区优选标准<sup>[30]</sup>,研究发现常山—开化地区为有利勘探区域(图7)。

常山—开化地区位于马金—乌镇断裂与常山—漓渚断裂之间,虽被球川—萧山断裂切割,分属开化—桐庐凹陷与常山—诸暨凸起,但目标地层埋藏较深,主体介于500~3 300 m之间,局部可深达5 km左右,且球川—萧山断裂在地表多表现为逆冲断裂<sup>[11]</sup>,起到一定构造保护作用(图8)。同时,常山—开化地区古生界地层较全,剥蚀相对较少;有利区内断裂相对较少,且地层倾角相对较小;总体而言具较好的构造保存条件。该区  $E_qVR_0$  在2.25%~3.12%,TOC含量在2.86%~13.23%,厚度

在50~300 m,面积在1 900 km<sup>2</sup>左右,埋深较深,地层相对平缓,同时避开火成岩岩体出露的燕山期岩浆活动强烈区域,是江山—桐庐地区页岩气的有利勘探区域(表5)。

### 5.2 勘探风险

从构造位置、断裂发育、页岩静态评价指标、上覆地层剥蚀情况及岩体发育等方面综合评价,常山—开化地区是江山—桐庐地区页岩气最有利勘探区域。然而,有利区虽避开了岩浆活动较强烈区域,但仍可能存在部分岩脉、岩枝侵蚀页岩储层的情况,而这些小规模的热事件,常规物探方法很难识别,成为勘探中的重要风险。同时研究区缺少地震等物探资料,对隐伏的中小断裂的展布及性质无法进行准确识别,对页岩气的保存条件评价造成了很大影响,这也成为勘探中的另一重要风险。

## 6 结论

(1)浙西江山—桐庐地区下寒武统荷塘组处于有利沉积相带内(深水盆地—陆棚相沉积),具有沉积厚度大、有机质丰度高、热演化程度相对较低、脆性矿物含量高、黏土矿物含量适中、微孔隙微裂缝发育等特点,具有较好的成藏物质基础。

(2)江山—桐庐地区稀土元素具有轻微的Ce负异常和较明显的Eu正异常,轻稀土富集、重稀土含量稳定及非正常海相沉积的特征,表明该区域荷塘组暗色泥岩沉积过程中有热水作用参与,并且在开化西南部热液活动较为强烈。

(3)结合江山—桐庐地区荷塘组泥页岩展布特征、有机地化特征、储层物性特征、火山岩体展布、热液活动及保存条件等因素,根据中国海相页岩气有利区评价标准,优选出常山—开化地区为该

表4 研究区荷塘组与中美典型含油气页岩地质参数对比<sup>[5,8,10,25,28-29]</sup>

Table 4 Comparison of geological parameters between Hetang Formation and typical oil/gas-bearing shale of China and America

页岩层系	美国页岩气层				中国页岩气层		
	Barnett	Haynesville	Utica	Marcellus	五峰组—龙马溪组	筇竹寺组	荷塘组
地区	Fort Worth	Sabine 隆起	Appalachian	Appalachian	涪陵地区	威远地区	江山—桐庐地区
地层时代	石炭纪	侏罗纪	奥陶纪	泥盆纪	奥陶纪—志留纪	寒武纪	寒武纪
埋深/m	1 981~2 591	3 048~4 115	2 100~4 300	1 006~2 682	2 000~4 000	2 600~4 600	500~4 500
有效厚度/m	15~61	61~91.44	20~300	14~117	40~80	20~80	20~440
w(TOC)/%	2.4~7.0/4.5	0.5~4	3.0~8.0	2.0~8.0	2.0~8.0	2.3~4.2	0.36~23.52/5.84
$E_qVR_0$ /%	1.1~2.2	2.2~3.2	0.6~3.2	1.23~2.56	2.65	1.5~5.7	2.25~3.67/3.07
有机质类型	I、II	I、II	I、II	II、混III	I、II	I、混II <sub>1</sub>	I、混II <sub>1</sub>
总孔隙度/%	4.0~5.0	8.0~9.0	3.0~6.0	3.0~13.0	1.2~8.1	0.82~4.86/2.44	0.13~9.98/1.69
基质渗透率/ $10^{-6} \mu\text{m}^2$	0.073~0.5	0.05~0.8	0.8~3.5	0.1~0.7	0.001~5.7	0.006~0.158/0.046	
脆性矿物含量/%	30~60	50~70	70~80	40~70	50~80	69~77/73	41.5~75.1/64.7

注:“/”后为平均值。

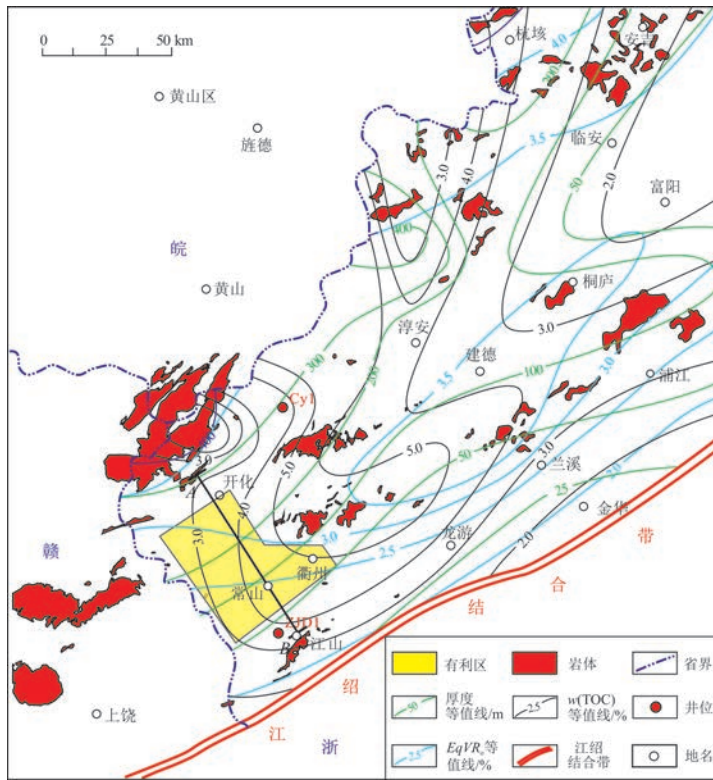


图7 浙西江山—桐庐地区页岩气有利区优选

Fig.7 Potential district for shale gas exploration in Jiangshan-Tonglu area, western Zhejiang province

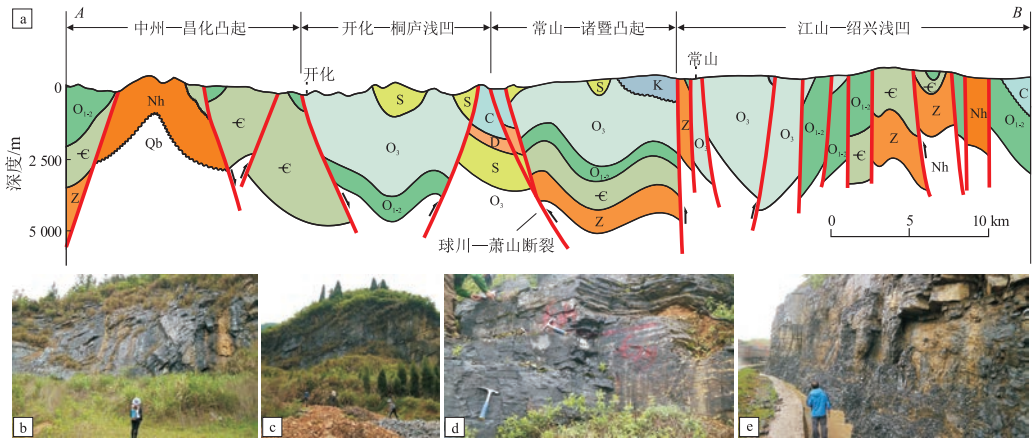


图8 浙西常山—开化地区地质剖面及野外地层出露

a.常山—开化地区构造剖面;b-c.开化地区寒武系地层出露;d.常山地区寒武系地层出露;e.江山地区寒武系地层出露  
Fig.8 Geological profile and outcrops in Changshan-Kaihua area, western Zhejiang province

表5 浙西常山—开化有利区优选主要参数<sup>[8,10,30]</sup>  
Table 5 Main parameters for favorable area optimization in Changshan-Kaihua area, western Zhejiang province

主要参数	变化范围	常山—开化地区
页岩面积/km <sup>2</sup>	200~500	1 900
泥页岩厚度/m	厚度稳定,大于10	50~300
w(TOC)/%	平均大于2.00	2.86~13.23
R <sub>o</sub> /%	I型大于1.20, II型大于0.70	2.25~3.12
埋深/m	300~4 500	500~3 300
地表条件	地形高差较小,平原、丘陵、低山、中山、沙漠等	丘陵
总含气量/(m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	≥0.50	吸附气0.5~8.6/3.26
保存条件	中等—好	中等

区页岩气勘探开发的有利区域。同时仍需加强火成岩体研究,尤其是小规模的热事件的研究,以最大程度避免勘探风险。

致谢:衷心感谢南京地质调查中心能源室项目组成员在数据分析及论文撰写过程中所给予的建议指导!

#### 参考文献:

- [1] U.S. Energy Information Administration. Natural gas gross withdrawals and production[Z/OL]. 2020-03-31[2020-04-15]. [https://www.eia.gov/dnav/ng/NG\\_PROD\\_SUM\\_DC\\_NUS\\_MMCF\\_M.htm](https://www.eia.gov/dnav/ng/NG_PROD_SUM_DC_NUS_MMCF_M.htm).
- [2] SOEDER D J. The successful development of gas and oil resources from shales in North America[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2018, 163:399-420.
- [3] 马永生,蔡勋育,赵培荣. 中国页岩气勘探开发理论认识与实践[J]. *石油勘探与开发*, 2018, 45(4):561-574.  
MA Yongsheng, CAI Xunyu, ZHAO Peirong. China's shale gas exploration and development: understanding and practice[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2018, 45(4):561-574.
- [4] 邹才能,董大忠,王社教,等. 中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J]. *石油勘探与开发*, 2010, 37(6):641-653.  
ZOU Caineng, DONG Dazhong, WANG Shejiao, et al. Geological characteristics, formation mechanism and resource potential of shale gas in China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(6):641-653.
- [5] 邹才能,赵群,董大忠,等. 页岩气基本特征、主要挑战与未来前景[J]. *天然气地球科学*, 2017, 28(12):1781-1796.  
ZOU Caineng, ZHAO Qun, DONG Dazhong, et al. Geological characteristics, main challenges and future prospect of shale gas[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2017, 28(12):1781-1796.
- [6] 蔡周荣,夏斌,黄强大,等. 上、下扬子区古生界页岩气形成和保存的构造背景对比分析[J]. *天然气地球科学*, 2015, 26(8):1446-1454.  
CAI Zhourong, XIA Bin, HUANG Qiangtai, et al. Comparative study of the tectonic setting on the formation and preservation of Paleozoic shale gas between the Upper Yangtze and the Lower Yangtze platforms[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2015, 26(8):1446-1454.
- [7] 刘计勇,张飞燕,印燕铃. 下扬子下寒武统岩相古地理及烃源岩条件研究[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2018, 38(3):85-95.  
LIU Jiyong, ZHANG Feiyan, YIN Yanling. Lithofacies and paleogeographic study on late Cambrian hydrocarbon source rocks in Lower Yangtze region[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2018, 38(3):85-95.
- [8] 章伟. 浙西地区下寒武统荷塘组页岩气地质条件及含气性研究[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2014:25-45.  
ZHANG Wei. Research on geological condition and gas-bearing of shale gas in Hetang Formation, Lower Cambrian in the west region of Zhejiang Province[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2014:25-45.
- [9] 黄正清,周道容,李建青,等. 下扬子地区寒武系页岩气成藏条件分析与资源潜力评价[J]. *石油实验地质*, 2019, 41(1):94-98.  
HUANG Zhengqing, ZHOU Daorong, LI Jianqing, et al. Shale gas accumulation conditions and resource potential evaluation of the Cambrian in the Lower Yangtze area[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2019, 41(1):94-98.
- [10] 何钰. 浙江地区下寒武统荷塘组页岩气资源前景初探[D]. 杭州:浙江大学, 2015:23-40.  
HE Yu. Preliminary study on shale gas resource potential of the Lower Cambrian Hetang Formation in Zhejiang region[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015:23-40.
- [11] 浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1989.  
Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province. Regional Geology of Zhejiang Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989.
- [12] 薛耀松,俞从流. 浙西、赣东北寒武系下统荷塘组岩石特征及沉积环境分析[J]. *地层学杂志*, 1979, 3(4):283-293.  
XUE Yaosong, YU Congliu. The analysis of rocks features and sedimentary of Lower Cambrian Hetang Formation in west Zhejiang-northeast of Jiangxi[J]. *Journal of Stratigraphy*, 1979, 3(4):283-293.
- [13] HENDERSON P. Rare earth element geochemistry[M]. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2013.
- [14] 曹婷婷,徐思煌,王约. 川东北下寒武统筇竹寺组稀土元素特征及其地质意义:以南江杨坝剖面为例[J]. *石油实验地质*, 2018, 40(5):716-723.  
CAO Tingting, XU Sihuang, WANG Yue. Characteristics of rare earth elements in Lower Cambrian Qiongzhusi Formation in northeastern Sichuan Basin and its geological implications: a case study of Yangba section, Nanjiang[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2018, 40(5):716-723.
- [15] 王立社,侯俊富,张复新,等. 北秦岭庙湾组黑色岩系稀土元素地球化学特征及成因意义[J]. *地球学报*, 2010, 31(1):73-82.  
WANG Lishe, HOU Junfu, ZHANG Fuxin, et al. REE geochemical characteristics of the Miaowan Formation black rock series in North Qinling mountain and their genetic significance[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2010, 31(1):73-82.
- [16] 张玉松,张杰,毛瑞勇. 贵州下寒武统黑色页岩稀土元素组成及示踪特征研究[J]. *稀土*, 2019, 40(3):7-19.  
ZHANG Yusong, ZHANG Jie, MAO Ruiyong. REE composition and tracing characteristics of Lower Cambrian black shale in Guizhou[J]. *Chinese Rare Earths*, 2019, 40(3):7-19.
- [17] SVERJENSKY D A. Europium redox equilibria in aqueous solution[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1984, 67(1):70-78.
- [18] 王祥,刘玉华,张敏,等. 页岩气形成条件及成藏影响因素研究[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(2):350-356.  
WANG Xiang, LIU Yuhua, ZHANG Min, et al. Conditions of formation and accumulation for shale gas[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(2):350-356.
- [19] 邹才能,杨智,崔景伟,等. 页岩油形成机制、地质特征及发展对策[J]. *石油勘探与开发*, 2013, 40(1):14-26.



ZOU Caineng, YANG Zhi, CUI Jingwei, et al. Formation mechanism, geological characteristics and development strategy of nonmarine shale oil in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(1): 14-26.

[20] 王晔, 邱楠生, 仰云峰, 等. 四川盆地五峰—龙马溪组页岩成熟度研究[J]. 地球科学, 2019, 44(3): 953-971.

WANG Ye, QIU Nansheng, YANG Yunfeng, et al. Thermal maturity of Wufeng-Longmaxi shale in Sichuan Basin[J]. Earth Science, 2019, 44(3): 953-971.

[21] 丰国秀, 陈盛吉. 岩石中沥青反射率与镜质体反射率之间的关系[J]. 天然气工业, 1988, 8(3): 20-25.

FENG Guoxiu, CHEN Shengji. Relationship between the reflectance of bitumen and vitrinite in rock[J]. Natural Gas Industry, 1988, 8(3): 20-25.

[22] CURTIS J B. Fractured shale-gas systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921-1938.

[23] 赵文智, 李建忠, 杨涛, 等. 中国南方海相页岩气成藏差异性比较与意义[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(4): 499-510.

ZHAO Wenzhi, LI Jianzhong, YANG Tao, et al. Geological difference and its significance of marine shale gases in South China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(4): 499-510.

[24] 李新景, 胡素云, 程克明. 北美裂缝性页岩气勘探开发的启示[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(4): 392-400.

LI Xinjing, HU Suyun, CHENG Keming. Suggestions from the development of fractured shale gas in North America[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(4): 392-400.

[25] LOUCKS R G, REED R M, RUPPEL S C, et al. Spectrum of pore types and networks in mudrocks and a descriptive classification for matrix-related mudrock pores[J]. AAPG Bulletin, 2012, 96(6): 1071-1098.

[26] 付常青, 朱炎铭, 陈尚斌. 浙西荷塘组页岩孔隙结构及分形特征研究[J]. 中国矿业大学学报, 2016, 45(1): 77-86.

FU Changqing, ZHU Yanming, CHEN Shangbin. Pore structure and fractal features of Hetang formation shale in western Zhejiang[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2016, 45(1): 77-86.

[27] 丁江辉, 张金川, 杨超, 等. 页岩有机孔成因演化及影响因素探讨[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2019, 41(2): 33-44.

DING Jianghui, ZHANG Jinchuan, YANG Chao, et al. Formation evolution and influencing factors of organic pores in shale[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2019, 41(2): 33-44.

[28] REZAEE R. Fundamentals of gas shale reservoirs[M]. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015.

[29] 王淑芳, 董大忠, 王玉满, 等. 中美海相页岩气地质特征对比研究[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(9): 1666-1678.

WANG Shufang, DONG Dazhong, WANG Yuman, et al. A comparative study of the geological feature of marine shale gas between China and the United States[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(9): 1666-1678.

[30] 张奥博, 汤达祯, 陶树, 等. 中美典型含油气页岩地质特征及开发现状[J]. 油气地质与采收率, 2019, 26(1): 37-45.

ZHANG Aobo, TANG Dazhen, TAO Shu, et al. Analysis of geological background and development situation of typical oil/gas-bearing shales in China and America[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2019, 26(1): 37-45.

[31] 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.

XIE Guoliang, LIU Shuigen, SHEN Yulin, et al. Reservoir-forming conditions and favorable areas evaluation of shale gas reservoir in Hetang formation, northeastern Jiangxi area[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2015, 44(4): 704-713.

(编辑 黄娟)

## 《石油实验地质》被 Scopus 数据库收录

2020年3月31日, Scopus 评估机构通知我刊已顺利通过评审, 自2018年以来的文献都将被 Scopus 数据库收录。

Scopus 数据库由国际知名出版商爱思唯尔(Elsevier)出版公司于2004年11月推出, 涵盖4大门类27个学科领域, 是目前全球规模最大的文摘和引文数据库。目前国内重点高校和科研单位, 如清华大学、北京大学、南京大学、同济大学、中国科技大学、中国科学院等, 都是该数据库用户。相对于其他单一的文摘索引数据库, Scopus 数据库的内容更全面、学科更广泛。Scopus 数据库对于期刊的遴选标准及程序非常严格, 一般有6~12个月的审核期并且经过同行专家推荐, 作为一本中文科技期刊能通过审核, 是对我刊办刊质量和影响力的高度认可。

《石油实验地质》编辑部将以此为契机和动力, 再接再厉, 在广大编委、同行评议专家、投稿作者和热心读者的支持下, 不断提高期刊质量与水平, 充分发挥期刊在石油地质学术研究中的作用, 为科研成果的共享和传播做好服务。

(本刊编辑部)