

文章编号: 0253-2697(2017)05-0525-08 DOI:10.7623/syxb201705005

鄂尔多斯盆地三叠系延长组陆相烃源岩中角质体组分 新认识及生烃贡献

张明震¹ 吉利明¹ 杜宝霞² 周世新¹ 陈永欣¹

(1. 甘肃省油气资源研究重点实验室/中国科学院油气资源研究重点实验室 中国科学院西北生态环境资源研究院 甘肃兰州 730000;
2. 兰州大学地质科学与矿产资源学院 甘肃省西部矿产资源重点实验室 甘肃兰州 730000)

摘要:陆相烃源岩有机显微组分中,已经证明来源于高等植物的角质体、孢粉体以及木栓体等组分具有较高的生烃能力。但以往研究均认为这些组分在干酪根组分中含量极低。针对鄂尔多斯盆地三叠系延长组烃源岩进行了详细干酪根显微组分研究,发现一类国际上称为凝胶化木质碎片的组分,而国内被称为富氢镜质体,或荧光镜质体,在总组分中的含量较高。该组分在透射光显微镜下呈厚实的亮黄色光泽,蓝光激发下呈弱黄色荧光,并且部分体积较大的颗粒具有植物叶片气孔结构,指示其可能来源于角质层未脱离的植物叶片器官。同时还针对完整化石叶片进行热模拟实验,发现具有较高的产烃率,这表明该类有机体具有一定的生烃能力、与相对富氢的角质体是同一生物组织母源,因此应属于壳质组的范畴,而不属于以高等植物木质纤维为母源的镜质体,在这里称之为凝胶化角质体。包括植物叶片在内的高等植物组织的生物总量巨大,构成湖泊沉积有机质输入的主要来源,所产生的这类凝胶化角质体可能对湖相烃源岩具有重要生烃贡献。特别是继二叠系—三叠系大灭绝之后,三叠纪松柏类植物大爆发,这类植物叶片表面附着有厚实角质层,产生的大量凝胶化角质体可能对延长组石油的形成具有重要贡献。这一发现,从生物母质来源上奠定了高等植物对延长原油具有重要贡献的理论基础。

关键词:干酪根;凝胶化角质体;生烃潜力;陆相烃源岩;延长组

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

New understanding to the cutinite from source rocks of Triassic Yanchang Formation and its hydrocarbon-generation contribution

Zhang Mingzhen¹ Ji Liming¹ Du Baoxia² Zhou Shixin¹ Chen Yongxin¹

(1. Northwest Institute of Eco-Environment and Resource, Key Laboratory of Petroleum Resources /Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Gansu Lanzhou 730000, China; 2. Key Laboratory of Mineral Resources in Western China (Gansu Province); School of Earth Sciences, Lanzhou University, Gansu Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on researches on the organic macerals of terrestrial source rocks, it is generally considered that the parent materials of high plants make important contributions. At present, it has been proven that the cutinite, palynomorph and suberin from high plants have high hydrocarbon-generation potential. However, previous studies all indicate such components with very low content in kerogen macerals. Concerning this issue, a detailed research was carried out on kerogen macerals of the source rocks in Triassic Yanchang Formation, Ordos. It has been found that the component, which is called gelatinized particles in the world while hydrocarbon-rich vitrinite or fluorescent vitrinite in China, has a high content of total components. This component is characterized by thick luminous yellow color under a transmitted light microscope, but showing weak yellow fluorescence under blue light excitation; meanwhile, some bulky particles have leaf stomata structures, indicating it may be sourced from leaf organs with cutinite. Moreover, a thermal simulation experiment was conducted on complete fossil leaves, and a high hydrocarbon generation rate was obtained, thus proving that such organisms have a certain hydrocarbon generation potential, and also the same parent source of biological tissue to the cutinites relatively rich in hydrocarbon. Therefore, such organisms belong to the exinite, rather than the vitrinite with the lignocelluloses of high plants as parent source, called the gelatinized cutinite herein. The high plant tissues including leaves have massive biomass, and is the main source for lacustrine sedimentary organic input. The generated gelatinized cutinite might make great contributions to hydrocarbon generation in lacustrine source rocks. Especially, the Triassic conifers were blooming after the Permian-Triassic mass extinction. This kind of plants have thick cuticle on leaf surface, and the large amount of gelified cutinite generated might provide important contributions to oil generation of Yanchang Formation. This finding lays a theoretical foundation for high plants

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(XDB10010103)、国家自然科学基金项目(No. 41602023, No. 41402007)、甘肃省自然科学基金项目(1506RJYA284)与甘肃省重点实验室专项(KFJJ2015-06, 135CCJJ20160509)资助。

第一作者及通信作者:张明震,男,1984年10月生,2008年获济南大学学士学位,2014年获兰州大学理学博士学位,现为中国科学院兰州油气资源研究中心助理研究员,主要从事石油天然气地质与地球化学研究。Email: zhangmzh08@lzb.ac.cn

with great contributions to Yanchang crude oil from the perspective of biological parent material.

Key words: kerogen; gelified cutinite; hydrocarbon generation potential; terrestrial source rock; Yanchang Formation

引用:张明震,吉利明,杜宝霞,周世新,陈永欣.鄂尔多斯盆地三叠系延长组陆相烃源岩中角质体组分新认识及生烃贡献[J].石油学报,2017,38(4):525-532.

Cite:ZHANG Mingzhen,JI Liming,DU Baoxia,ZHOU Shixin,CHEN Yongxin. New understanding to the cutinite from source rocks of Triassic Yanchang Formation and its hydrocarbon-generation contribution[J]. Acta Petrolei Sinica,2017,38(4):525-532.

陆相生油岩系是中国含油气田的主要特征。自20世纪以来研究者开展了大量的陆相干酪根生烃模拟实验、油源对比等研究工作,已经基本确认陆生高等植物和水生生物,如藻类等是陆相油气源的两大母源^[1-3]。类似于海相生烃母质的湖泊水生藻类,具有高生烃(液态)潜力,这一点已经被研究者认可^[4-6]。针对陆相高等植物作为重要生烃母质来源在20世纪末做了大量的研究工作,最典型的就是煤成油研究,也证实了陆相高等植物也具有生烃(液态)重要贡献^[3,7]。并对不同组分,如镜质体、角质体、壳质体和惰质体等的生烃潜力也做了明确排序,其中角质体和壳质体生烃潜力最大^[7-8]。但事实上,大量干酪根显微组分研究均认为这些组分在总有机质组分中所占的比例极低,显然这些低含量组分难以成为生烃主体。其中以植物花粉孢子为主体的壳质体具有极低的含量,这一点可以很容易被理解。而角质体主要来源于植物叶片器官,在植物生命历程中具有巨大的生物量产出,理应在陆相沉积有机质总量中占据重要地位。因此关于植物叶器官来源的角质体的认识目前可能还存在一定问题。

为了深入理解来源植物叶片器官的角质体组分对总有机质的贡献,及其生烃潜力问题,笔者对角质体做到准确的鉴别,根据其生物母源提出可靠的辨别标准。基于这一问题,选择鄂尔多斯盆地延长组典型陆相烃源岩为例,通过利用透射—荧光显微镜定量观察统计方法重新认识角质体,确定显微镜下的角质体特征,评估角质体对延长组烃源岩生烃总量的贡献。

1 地质背景

鄂尔多斯盆地是发育在稳定克拉通盆地之上的大型多旋回克拉通盆地,于中一晚三叠世进入内陆湖盆演化阶段,湖盆在发生—发展—消亡沉积演化过程中形成了完整的湖泊—三角洲相沉积演化旋回,其中三叠系延长组是盆地中生界主力烃源岩系^[9-10]。延长组自上而下又可划分为10个油层组,延长组1段(长1段)至延长组10段(长10段),整体以灰黑色至深灰色泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩等细粒级碎屑岩为主,夹杂有蓝灰色至灰白色泥质砂岩、砂岩及粗砂岩等中粗粒级碎屑岩条带。其中延长组9段(长9段)至延长

组8段(长8段)处于湖盆扩张期,在长9段首次出现最大湖泛面,以“李家畔页岩”为代表的富有机质暗色泥岩沉积为特征,具有巨大的油气生烃潜力^[10];长8段湖盆萎缩,岩性以暗色泥岩、粉砂岩为主。

2 研究材料及实验方法

研究材料取自于鄂尔多斯盆地南部铜川地区的YK-1井,该井是专门用于科学研究用途的全取心钻井,井深约420 m。钻遇地层为三叠系延长组10段至延长组4+5段。研究样品取自长9段,共采集样品26件。平均有机碳含量1.1%,热解参数 $S_1 + S_2$ 为1.08 mg/g,最大热解温度 T_{max} 为446℃,镜质体反射率(R_o)为0.9%。另外为进行有机显微组分的生物母源对比,还专门采集了酒泉盆地中沟组化石层的松柏类掌鳞杉科植物化石。源岩镜质体反射率(R_o)为0.5%。用解剖刀将叶片化石从岩石上剥下,依次放入一定浓度的盐酸和氢氟酸溶液中,最后洗成中性置于显微镜下观察其特征。提取完好的化石碎片进行显微镜下观察研究。

所有干酪根提取实验样品使用目前国际上通用的HF-HCl法。具体实验流程如下,首先将样品碎至2 mm大小,根据每件样品的岩性特征,取20~50 g不等,加入稀盐酸浸泡,充分反应之后清洗至中性;然后再加入氢氟酸浸泡,再次清洗至中性;将每件样品分为相等的2份,一份用来进行干酪根组分定量统计鉴定;另一份用来过筛处理,为了获取具生物细胞结构的大体积镜质体和角质体组分,研究中还选取了孔径57 μm型号的过滤筛,收集筛滤样品保存。

将所有碎屑有机质样品制成薄片,在ZEISS Axioskop 40型显微镜下利用自然透射光和荧光模式相结合的方法,观察各类有机质的形态特征、保存状况和荧光特征。最后进行定量统计各类碎屑有机质的组成(直径大于3 μm颗粒)。重点针对不同大小的角质体进行分析鉴定,一般长度大于100 μm的大体积有机碎片具有了母质生物体的结构特征,然后将显微镜下的类似小体积类型与其对比,使用该方法区分角质体和镜质体的细微差别。

为了验证附着完整角质层的植物叶片器官的生烃潜力,笔者选择了中生代最常见的掌鳞杉科植物叶片

化石,进行简易热模拟实验。该化石来自于酒泉盆地下白垩统中沟组富有机质泥岩,系重要的烃源岩层位之一,现有资料一般指示其有机质处于低成熟至成熟阶段。和延长组烃源岩类似,均为典型陆相烃源岩。因此两者地质时代、生烃母质、成熟度等条件基本类似。由于以了解陆生高等植物叶片的最终生烃能力为目的,暂时不考虑其生烃的中间过程,因此仅选择了350°C的模拟温度,最终将热模拟产物进行有机组分分离,确定气、液态烃的产量。

3 角质体特征及其干酪根有机显微组分特征

3.1 延长组烃源岩有机显微组分特征

研究中干酪根显微组分的命名标准,主要采用中国石油天然气总公司于1996年颁布的透射光—荧光干酪根显微组分鉴定及类型划分方法行业标准^[11]。根据常见的显微组分,延长组干酪根显微组分被划分为无定形体、角质体、镜质体、丝质体、孢型藻类型(表1)。其中丝质体需要加以说明,在国外的孢粉相研究中一般没有丝质体这一概念,相似的命名为不透明植物碎片(opaque particles 简称 op)^[12]。不透明植物碎片这一概念事实上包含了一定的镜质体组分,因为显微镜所使用的透光强度不同,会导致镜质体和该类组分相混淆。而丝质体则是被碳化的植物组织,这类组分在未成熟至成熟阶段的烃源岩中含量较低。

铜川地区延长组长9段烃源岩干酪根显微组分中整体以镜质体和角质体为主[表1,图1(a)—图1(e)],在总组成中镜质体平均约占40%,角质体约占30%。其次是无定形体也较为丰富,约占20%。丝质体含量一般低于5%,孢粉体含量最低,一般低于5%。每件样品的干酪根组成差别明显,大致可以划分3个组合。①是角质体+无定形体组合[图1(a)],该组合中角质体一般约占40%,无定形体约占40%,其次是镜质体和丝质体;②是角质体+镜质体组合[图1(d)],该组合中角质体和镜质体含量相当,两者的含量之和一般大于80%,其次是丰富的丝质体成分;③是无定形体组合,该组合基本以无定形为主,其含量一般大于60%,其次是丰富的角质体和镜质体成分。

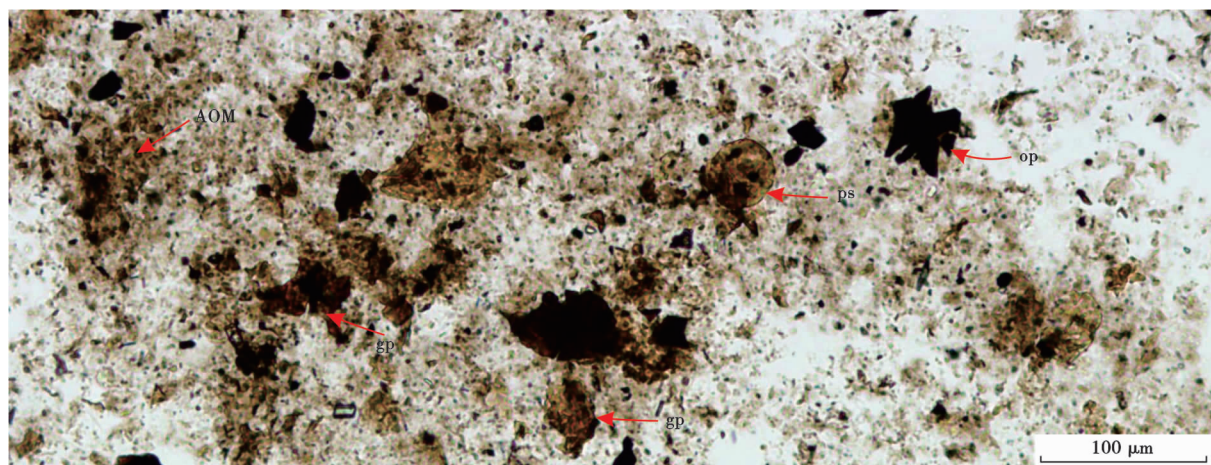
3.2 角质体特征

在长9段干酪根显微组分结果中(表1),可以看到角质体组分含量明显高于以往的研究认识,这是因为对角质体的认识不同而得到的结果不一致。在研究中,所认识的角质体组分大致可以划分2种类型:一是凝胶化角质体(gelified particles, gp)[图2(a)—图2(b)];二是薄膜透明状角质体(cuticle)[图2(c)—图2(d)]。

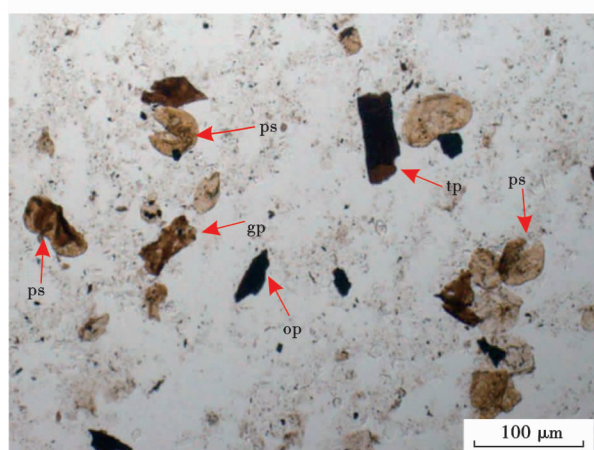
凝胶化角质体类型是角质体组成的主体。该有机碎屑类型近年来在国际上被频繁提出^[13-14],常与镜质体相混淆。其体积一般在10~100 μm,和常规的镜质体大小相似。在显微镜下,其表面光滑呈现胶体状的黄—棕色光泽,在颜色上较镜质体浅。其质地相对厚实,表面不平整,边缘相对平直,不同于具有纤维状模糊边缘的腐殖型无定形体。但是其角部边缘又没有镜质体的边缘锋利,以及管胞结构,可以明显区别常见的镜质体[图2(e)]。而该有机质组分最显著特征是在蓝光激发下呈现微弱的荧光显示[图1(c),图1(e);图2(b)],在高亮度荧光背景照片中,可以看到常规的镜质体呈黑色背影,而这类有机体则显示微弱的淡褐黄色光泽。大体积下的该类型有机质体则具有明显的生物母体特征,保存了较好的表皮细胞排列结构[图2(a)],部分甚至还保存了表皮细胞之间的植物叶片气孔结构[图2(f)]。薄膜透明状角质体则是以往常规的角质体类型,其总体含量较低。该有机质体在显微镜下相对透明,呈淡黄色。质地柔软,常伴有褶皱。呈不同形态的波纹、多角、无规则等轮廓,大体积伸展较好的类型可见表皮细胞组织[图2(c)],甚至气孔。蓝光激发下具有明显的黄色荧光特征[图2(d)]。

表1 YK1井延长组9段烃源岩干酪根组分数据
Table 1 The kerogen component data of Member 9th in Well YK1 of Yanchang Formation

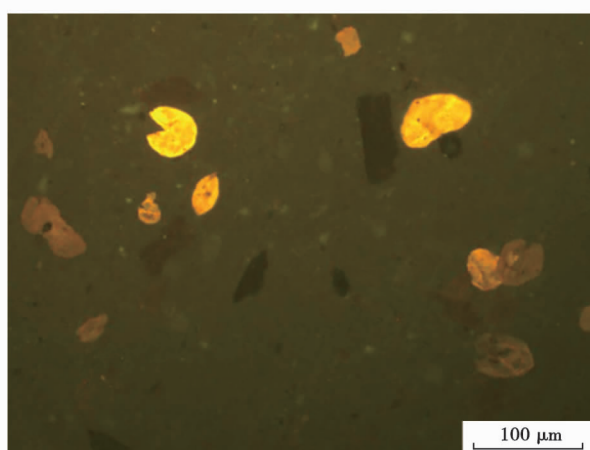
深度/ m	无定 形体/ %	角质体/%		植物木质/%		孢型/ 藻类 体/%
		凝胶化	薄膜状	镜质体	惰质体	
380.4	18	43	3	23	12	1
378.7	1	35	1	45	15	2
377.1	2	30	6	37	24	
374.9	24	47	9	9	8	2
373.9	9	27	5	38	21	
369.2	9	29	3	38	19	1
367.5	10	10	8	31	41	
364.3	40	20	0	31	9	
361.8	31	38	12	11	6	2
356.8	10	17	0	50	23	
351.8	8	61	4	9	19	
349.6	18	35	2	21	23	1
346.9	18	30	0	37	16	
343.2	15	36	2	29	15	3
340.3	36	58	0	2	5	
337.7	74	11	0	9	5	1
335.7	13	47	1	22	17	
333.2	67	11	0	12	8	1
326.6	13	46	0	27	12	2
324.3	18	35	0	37	10	
321.8	31	39	0	15	14	1
319.7	15	22	16	28	18	
316.9	10	47	4	22	12	4
314.2	12	55	6	3	24	
311.6	55	9	0	18	17	1
309.1	11	37	4	30	17	2



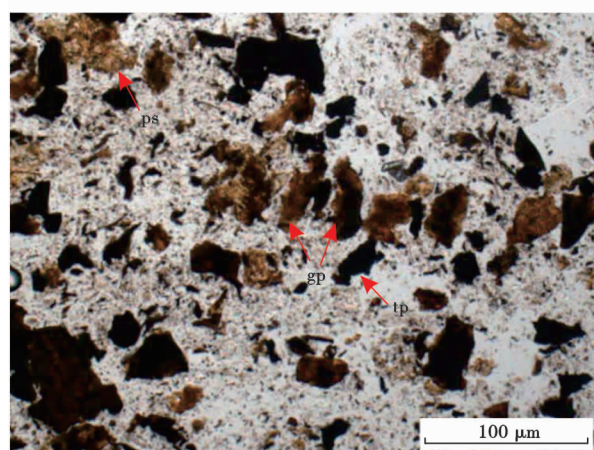
(a) 透射自然光下, 富无定形体 (AOM) 和凝胶化角质体组合



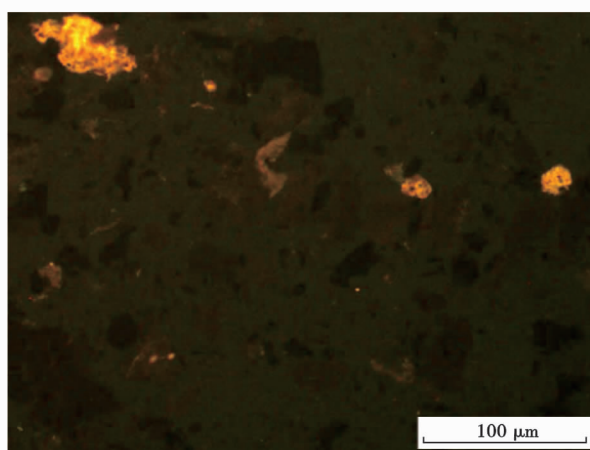
(b) 富凝胶化角质体和镜质体组合



(c) 蓝色荧光激发下, 不同有机组分的荧光特征



(d) 富凝胶化角质体和镜质体组合



(e) 蓝色荧光激发下, 不同有机组分的荧光特征

注: ps—孢型藻类型; op—丝质体; tp—镜质体; gp—凝胶化角质体; AOM—无定形体。

图 1 延长组不同干酪根组分组合下的透射自然光以及蓝色荧光下的显微特征

Fig. 1 The microscopic characteristics of different kerogen component assemblages from Yanchang Formation under natural light and blue fluorescence

3.3 具厚角质层叶片化石的热模拟结果

酒泉盆地中沟组烃源岩的掌鳞杉科植物叶片具有较厚的角质层^[15],角质层表面具有气孔边缘加厚、乳突发育等特征,这均是厚角质层的生理表现。热模拟实验结果显示,总重 451.8 mg 的该叶片化石,在玻

璃管内经过 350℃ 的热模拟温度之后,产出总气态烃量达 130 mL,产气率约 330 mg/g。对热模拟实验的液态排出物和残留样品抽提物分离发现,总产出饱和烃 5.3 mg,芳烃 9.9 mg,沥青 37.0 mg,非烃 35 mg,总生烃率达 19.3%。

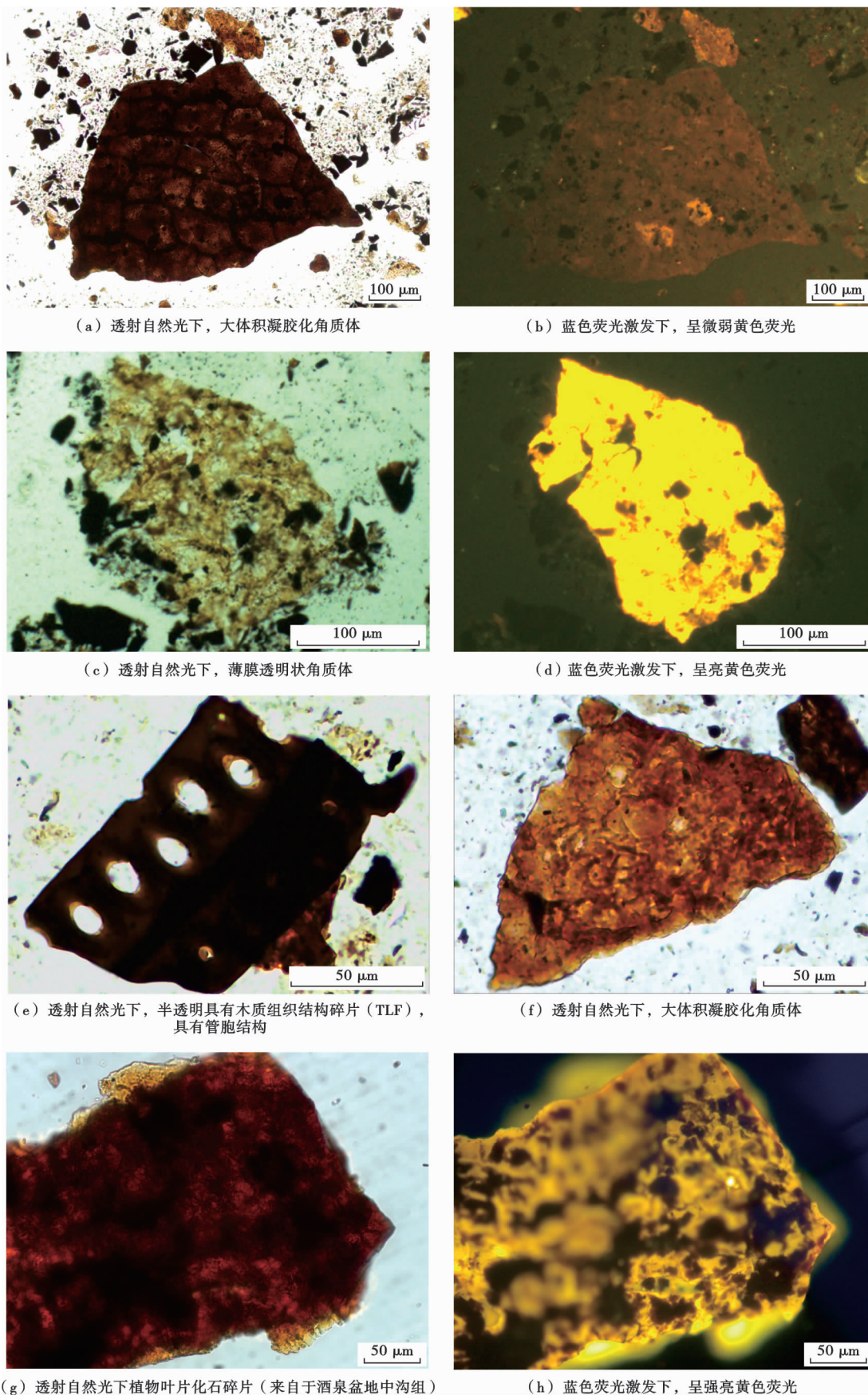


图 2 典型角质体、镜质体和化石叶片照片

Fig. 2 Representative photomicrographs of cutinite, vitrinite and fossil leaves

4 角质体组分的属性特征及其生烃意义

4.1 角质体的属性特征及其鉴识依据

在以往的研究中,仅是将薄膜透明状角质体归为角质体组分,而凝胶化角质体则被归类为镜质体组分,被称为荧光镜质体、凝胶化镜质体、富氢镜质体等等^[16-17],属于镜质体的范畴,这也是导致角质体在总干酪根组分中占据极小比例的原因。其轻微的荧光特征被认为是母源富氢或受微生物作用或被烃类浸染而形成。并没有从生物母源上对这一组分给予透彻的解释。镜质体是指主要由高等植物的木质纤维组织经腐殖凝胶化作用,形成以腐殖酸和沥青质为主要成分的凝胶化物质,再经煤化作用而成。而角质体一词则是来源于生物学领域的角质层概念,角质层是指表皮最外层的部分,主要由10~20层扁平、没有细胞核的死亡细胞组成。当这些细胞脱落时,底下位于基底的细胞会被推上来,形成新的角质层。根据以上的特征介绍可知,小体积的该类有机碎片与镜质体比较容易混淆。在古生物学研究上,常通过追溯生物母体的方法进行研究生物遗迹化石碎片的属性,因此从生物母质来源上研究这类凝胶化角质体的归属。为此,对粗筛过滤的样品进行收集鉴定,在显微镜下发现了大片凝胶化角质体,其中部分大片有机碎片表面具有规则的细胞排列结构[图2(a)],更为重要的是这些在规则细胞之间还存在气孔构造。这一特征基本可以确定这类凝胶化角质体来源于植物叶片器官,应属于角质体范畴。

由于来源于植物叶片表层角质层组织的角质体属于类脂组分,在蓝光激发下具显著的黄色荧光特征。薄膜状角质体的荧光特征显著,并且也有研究揭示其具有较高的生烃能力。而这类凝胶化角质体的研究十分薄弱,研究通过蓝色激发下,发现也具有一定荧光特征。其中大片的这类有机体荧光特征明显,而小体积的荧光微弱,但可以具有明显黑色背影的镜质体相区别。但总体而言,这类凝胶化角质体的荧光特征明显弱于透明薄膜状的角质体,这可能是因为这类组分夹杂有非类脂组分的杂质。

为了进一步理解这类凝胶化角质体的特征。笔者选择植物化石叶片进行透射光—荧光显微镜观察研究。研究发现植物叶片碎片与本文发现的凝胶化角质体十分相似,质地异常厚实,呈亮黄色光泽[图2(h)]。而在蓝光激发下,发现酒泉盆地中沟组松柏类植物叶片化石呈现强烈的黄色荧光特征[图2(i)];明显强于延长组凝胶化角质体的荧光强度。这可能是由于中沟组烃源岩样品的成熟度偏低,大部分有机质仅接近或

者未达到生烃门限,而延长组样品大部分进入成熟阶段,有机质体已经遭受了一定的排烃过程,这可能是造成这两者荧光强度具有明显差异的主要原因。

通过以上的深入对比研究,应该基本可以认定这类有机质体同样来源于陆生高等植物叶片器官,其表面附着厚实的角质层,与常规的透明薄膜状角质体相似,区别是该类型可能为整块的植物叶片碎屑。常规的透明薄膜状角质体则是从植物叶片表层脱落的单一角质层组织,因此这类组分具有较为强烈的荧光特征。并且根据植物化石角质层研究可知^[17],植物叶片化石在保存过程中,大部分植物叶片表面附着有完整的角质层。这也就是说大部分角质体应该是与植物叶片下层组织一起整体埋藏保存,形成了称之为凝胶化角质体。

4.2 延长组角质体组分的高含量因素及其生烃意义

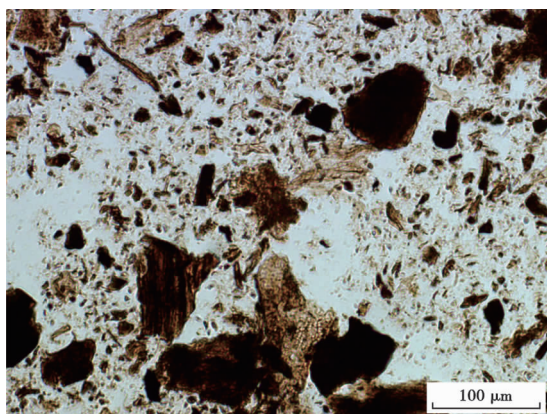
在以往的干酪根显微组分研究中,仅统计了从植物叶片表面脱落的角质层部分。而根据以上论证,这类凝胶化角质体事实上占角质体组分的主体,因此将这类有机组分划归为角质体组分后,延长组角质体含量明显高于同类烃源岩。

在角质体的总生物量方面,以往的研究忽略了陆相烃源岩中陆生高等植物的叶生物量贡献。在II型和III型干酪根的陆相烃源岩中,总有机质主要以陆生高等植物有机质输入为主。在前新生代的地质历史时期,草本型被子植物还没有出现,陆地高等植物通常以高大乔木为主。该类植被的各器官年生物量顺序通常是干、根、枝、叶、皮,因此叶的生物量贡献不可忽视。而这些植被器官的沉积过程差别较大,由于叶器官的生长周期较短以及体积小,因此在脱落之后很容易在河流和风力的搬运下被沉积保存。而其他器官则随树木多年生长直至死亡,在自然界中树木死亡之后,由于体积较大而不易搬运,通常遭受长时间的搬运过程,总有机质最终保存量被极大缩减。因此高等植物叶器官对湖泊沉积量具有巨大贡献,这在生物-沉积原理上很容易理解。

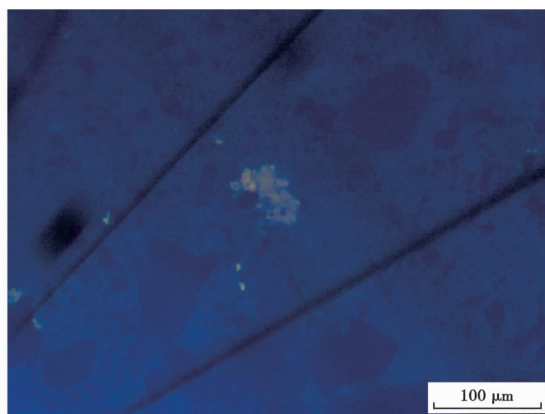
由于不同植物类型的叶角质层厚度及产量具有较大差别,决定了并不是所有的这类叶角质体对烃源岩具有重要的生烃贡献。笔者还尝试研究了辽河油田沙河街组以及柴达木盆地渐新统下干柴沟组烃源岩的干酪根,辽河凹陷沙河街组烃源岩干酪根投射、荧光显微镜下图片中[图3(a)—图3(b)],发现这类凝胶化角质体大部分不具荧光特征。植物角质层研究一般认为松柏类的角质层较厚^[15,18],阔叶型被子植物和蕨类植物的角质层较薄^[19-20]。在地质历史时期中,高等陆生植物具有不同的演化阶段。在新生代,被子植物主导

了陆地植物群,特别是草本植物出现,这类植物的叶片表面附着了很薄的一层角质层,经过一定的地质热演化过程之后,基本具备有荧光特征。而延长组三叠期则是以裸子植物为主,已有研究发现在 P-T 界线(Permian-Triassic boundary)全球生物大灭绝之后,陆地出现了以松柏类为主的裸子植物大爆发^[21-22]。三叠系延长组的孢粉组合中双囊型松柏类花粉一般占 60% 以上^[23]。因此这表明松柏类植物是延长组烃源岩陆相有机质的主要来源。而这类植被具有厚实的角质层,极有可能成为延长组烃源岩的重要生烃贡献。为

了进一步了解这类附着厚实角质体的松柏类树叶体(即凝胶化角质体)的生烃能力,对产自白垩统的保存完好的化石叶片进行了初步的热模拟实验。通过以上的实验结果可知,其液态烃产率达 193 mg/g,气态烃产率达 330 mg/g。介于腐泥型有机质(600 mg/g)和腐殖型有机质产烃率之间,接近 II₁ 型干酪根。这与以往研究的薄膜状角质体热解烃产率基本接近^[24]。这表明厚角质体松柏类叶片与常规的角质体的生烃能力基本类似,所产出的大量凝胶化角质体可能对陆相烃源岩具有重要的生烃贡献。



(a) 透射自然光下干酪根组分特征



(b) 蓝色荧光激发下,仅少量角质体呈黄色荧光

图3 辽河凹陷沙河街组干酪根组分的显微镜下特征

Fig. 3 The microscopic characteristics of kerogen component from Shahejie Formation, Liaohe Depression

关于来源于高等植物叶器官的这类凝胶化角质体的生烃贡献,在 Zhang 等^[25]中做过大量相关工作。研究发现藻类来源的富氢无定形体(AOM)含量与热解氢指数(HI)具有明显的正相关性;贫氢的镜质体和惰质体之和则与 HI 呈负相关性;而凝胶化角质体含量则与 HI 不具有负相关性特征;但是凝胶化角质体和 AOM 之和与 HI 呈现的正相关性,几乎于 AOM-HI 的正相关性程度相当。这一点充分说明了凝胶化角质体具有一定的生烃贡献。姚素平等曾专门提出了一种沉积有机相模式^[26],为湿地草木混生(沼泽)有机相,该组合中的“草”事实上就是叶质角质体组分,根据沉积环境和有机地化资料认为该有机相模式的生烃方向以油为主。具多年来的延长组油-源对比研究认为,延长组原油的正构烷烃以高碳数占优势,甾烷以 C₂₉ 含量较高,二环萜烷和四环萜烷含量高,存在陆源三环二萜烷,含有较低丰度的烷基环己烷,这些结果指示高等植物是重要的生烃贡献^[27-29]。尽管在以前的研究中发现了重要的藻类生烃母质,但是其含量极少,也难以解释延长组原油的主要生烃母质来源。由于在之前的干酪根组分研究认为,具有高生烃能力的角质体和孢粉含量也很少,因此至今很难理解延长组原油组分中

高等植物高贡献量这一难题。而研究中发现的这类高含量凝胶化角质体有可能是延长组烃源岩的主要生烃母质来源,这有可能解决了陆相三叠系延长组原油的生烃母质难题。

5 结 论

(1) 通过对延长组烃源岩的干酪根显微组分的详细研究,并结合原位植物化石的透射光-荧光显微镜观察研究。发现被称为凝胶化角质体(在中国被称为荧光镜质体、富氢镜质体等)组分十分丰富。在显微镜下具有一定的荧光特征,通过与同类大体积碎片以及植物化石叶片碎片的对比,认为该类组分来源于植物叶器官,其表面附着于植物原生角质层,因此将该组分归类于角质体大类。

(2) 根据延长组沉积期的地质生物大背景,认为该类凝胶化角质体主要来自于松柏类高等植物,其特征是表面附着具有较高生烃潜力的厚实角质层。在以往沉积和有机地化研究中通常指出延长组原油中高等植物具有重要贡献,这类高含量凝胶化角质体的检出有可能是延长组烃源岩的重要生油贡献之一。

参 考 文 献

- [1] 黄第藩,李晋超,周翥虹,等.陆相有机质演化和成烃机理[M].北京:石油工业出版社,1984:17-231.
HUANG Difan, LI Jinchao, ZHOU Zhuhong, et al. Terrestrial organic matter evolution and hydrocarbon generation mechanism [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1984: 17-231.
- [2] 曹剑,雷德文,李玉文,等.古老碱湖优质烃源岩:准噶尔盆地下二叠统风城组[J].石油学报,2015,36(7):781-790.
CAO Jian, LEI Dewen, LI Yuwen, et al. Ancient high-quality alkaline lacustrine source rocks discovered in the Lower Permian Fengcheng Formation, Junggar Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(7): 781-790.
- [3] DUAN, Yi. Geochemical characteristics of crude oil influvial deposits from Maling oilfield of Ordos Basin, China[J]. Organic Geochemistry, 2012, 52, 35-43.
- [4] 孙永革,盛国英,傅家谟,等.辽河盆地东部凹陷未成熟烃源岩中生物标记物组成特征及意义[J].中国科学 B 辑:化学生命科学地学,1995,25(12),1296-1302.
SUN Yongge, SHENG Guoying, FU Jiamo, et al. The characteristics of biomarker assemblage and its significance in the immature source rocks from Eastern depression, Liaohe Basin, China [J]. Science in China: Series B, 1996, 39(2): 205-214.
- [5] 戴娜,钟宁宁,邓运华,等.中生代—新生代大陆边缘盆地海相烃源岩成因类型[J].石油学报,2015,36(8):940-953.
DAI Na, ZHONG Ningning, DENG Yunhua, et al. Genetic types of marine source rock in Meso-Cenozoic continental margin basins[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(8): 940-953.
- [6] JI Liming, YAN Kui, MENG Fanwei, et al. The oleaginous Botryococcus from the Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin, Northwestern China: morphology and its paleoenvironmental significance [J]. Journal Asian Earth Science, 2010, 38(5), 175-185.
- [7] 卢双舫,黄第藩.煤岩显微组分的成烃动力学[J].中国科学 B 辑,1995,25(1):101-107.
LU Shuangfang, HUANG Difan. The hydrocarbon-generation of maceral of coal rock[J]. Science in China: Series B, 1995, 25(1): 101-107.
- [8] 赵长毅,程克明.吐哈盆地煤及显微组分生烃模式[J].科学通报,1997,42(19):2102-2105.
ZHAO Changyi, CHENG Keming. The model of hydrocarbon generation and evolution for coal and macerals in the Tuha Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(21): 182-183.
- [9] 黄薇,张小莉,李浩,等.鄂尔多斯盆地中南部延长组 7 段页岩有机碳含量解释模型[J].石油学报,2015,36(12):1508-1515.
HUANG Wei, ZHANG Xiaoli, LI Hao, et al. Interpretation model of organic carbon content of shale in Member 7 of Yanchang Formation, central-southern Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(12): 1508-1515.
- [10] 王香增,任来义.鄂尔多斯盆地延长探区油气勘探理论与实践进展[J].石油学报,2016,37(增刊 1):79-86.
WANG Xiangzeng, REN Laiyi. Advances in theory and practice of hydrocarbon exploration in Yanchang exploration area, Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(S1): 79-86.
- [11] 中国石油天然气公司.透射光-荧光干酪根显微组分鉴定及类型划分方法[S].中华人民共和国石油天然气行业标准,1996:1-5.
China National Petroleum Corporation. Identification and type classification of kerogen maceral under the transmitted and fluorescent microscope [S]. petroleum and natural gas industry standard, China, 1996: 1-5.
- [12] SUÁREZ-RUIZ I, FLORES D, FILHO J G M, et al. Review and update of the applications of organic petrology: part 1, geological applications [J]. International Journal of Coal Geology, 2012, 99: 54-112.
- [13] GRAZ Y, DI-GIOVANNI C, COPARD Y, et al. Quantitative palynofacies analysis as a new tool to study transfers of fossil organic matter in recent terrestrial environments[J]. International Journal of Coal Geology, 2010, 84(1): 49-62.
- [14] SEBAG D, COPARD Y, DI-GIOVANNI C, et al. Palynofacies as a useful tool to study origins and transfers of particulate organic matter in recent terrestrial environments: synopsis and prospects [J]. Earth Science Reviews, 2006, 79(3/4): 241-259.
- [15] DU Baoxia, SUN Bainian, FERGUSON D K, et al. Two Brachyphyllum species from the Lower Cretaceous of Jiuquan Basin, Gansu province, NW China and their affinities and palaeoenvironmental implications[J]. Cretaceous Research, 2013, 41: 242-255.
- [16] 肖贤明.生油岩中镜质组类型及其反射率分布规律[J].石油学报,1991,12(2):33-39.
XIAO Xianming. The types of vitrinite in oil source rocks and its reflectance distribution pattern[J]. Acta Petrolei Sinica, 1991, 12(2): 33-39.
- [17] 涂建琪,王淑芝,费轩.透射光-荧光下干酪根有机显微组分的划分[J].石油勘探与开发,1998,25(2):27-29.
TU Jianqi, WANG Shuzhi, FEI Xuan. Classification of the macerals of kerogen in hydrocarbon source rocks by transmitted light fluorescence[J]. Petroleum Exploration and Development, 1998, 25(2): 27-29.
- [18] 孙柏年,闫德飞,解三平,等.中国植物化石角质层研究综述[J].古生物学报,2009,48(3):347-356.
SUN Bainian, YAN Defei, XIE Sanping, et al. General discussion on cuticles of fossil plants in China[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2009, 48(3): 347-356.
- [19] 张泽宏,吴小霞.5种蕨类植物叶片解剖结构及其对阴生环境的适应性研究[J].华中师范大学学报:自然科学版,2013,47(6):840-843.
ZHANG Zehong, WU Xiaoxia. Study on the anatomy structure of five species of fern leaves and its adaptability to sciophyte environment[J]. Journal of Huazhong Normal University: Natural Sciences, 2013, 47(6): 840-843.
- [20] 戴静,孙柏年,刀克群,等.福建永安下白垩统坂头组枝脉蕨属一新种 Cladophlebis yonganensis sp. Nov[J].地球科学-中国地质大学学报,2012,37(3):401-410.
DAI Jing, SUN Bainian, DAO Kequn, et al. A new species Cladophlebis yonganensis sp. nov. from the lower cretaceous Bantou formation of Yong'an, Fujian province[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2012, 37(3): 401-410.

- Petrolei Sinica, 2015, 36(12): 1571-1579.
- [21] 孙炜, 李玉凤, 付建伟, 等. 测井及地震裂缝识别研究进展[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(3): 1231-1242.
SUN Wei, LI Yufeng, FU Jianwei, et al. Review of fracture identification with well logs and seismic data[J]. Progress in Geophysics, 2014, 29(3): 1231-1242.
- [22] 王珂, 张惠良, 张荣虎, 等. 超深层致密砂岩储层构造裂缝特征及影响因素——以塔里木盆地克深2气田为例[J]. 石油学报, 2016, 37(6): 715-727.
WANG Ke, ZHANG Huiliang, ZHANG Ronghu, et al. Characteristics and influencing factors of ultra-deep tight sandstone reservoir structural fracture; a case study of Keshen-2 gas field, Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(6): 715-727.
- [23] 高树生, 胡志明, 刘华勋, 等. 不同岩性储层的微观孔隙特征[J]. 石油学报, 2016, 37(2): 248-256.
GAO Shusheng, HU Zhiming, LIU Huaxun, et al. Microscopic pore characteristics of different lithological reservoirs[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(2): 248-256.
- [24] 白松涛, 程道解, 王金彬, 等. 砂岩岩石核磁共振 T₂ 谱定量表征[J]. 石油学报, 2016, 37(3): 382-391.
BAI Songtao, CHENG Daojie, WAN Jinbin, et al. Quantitative characterization of sandstone NMR T₂ spectrum[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(3): 382-391.
- [25] 张晋, 黄世军, 程林松. 天然裂缝储层压裂定向井稳态产量的蒙特卡洛计算[J]. 计算物理, 2014, 31(5): 567-572.
ZHANG Jun, HUANG Shijun, CHENG Linsong. Monte carlo calculation of stable productivity of fractured directional wells in natural fracture reservoirs[J]. Chinese Journal of Computational Physics, 2014, 31(5): 567-572.
- [26] 饶华, 李建民, 孙夕平. 利用分形理论预测潜山储层裂缝的分布[J]. 石油地球物理勘探, 2009, 44(1): 98-103.
RAO Hua, LI Jianmin, SUN Xiping. Using fractal theory to predict the distribution of fracture in buried-hill reservoir[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2009, 44(1): 98-103.
- [27] 熊健, 刘向君, 梁利喜. 甲烷在蒙脱石狭缝孔中吸附行为的分子模拟[J]. 石油学报, 2016, 37(8): 1021-1029.
XIONG Jian, LIU Xiangjun, LIANG Lixi. Molecular simulation on the adsorption behaviors of methane in montmorillonite slit pores[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(8): 1021-1029.
- [28] MAJIDI R, MISKA S Z, YU M J, et al. Fracture ballooning in naturally fractured formations; Mechanism and controlling factors[R]. SPE 115526, 2008.
- [29] LAVROV A. Newtonian fluid flow from an arbitrarily-oriented fracture into a single sink[J]. Acta Mechanica, 2006, 186(1/4): 55-74.
- [30] BRUEL D, CACAS M C, LEDOUX E, et al. Modelling storage behaviour in a fractured rock mass[J]. Journal of Hydrology, 1994, 162(3/4): 267-278.
- (收稿日期 2016-10-14 改回日期 2017-03-25 编辑 宋宁)
- ~~~~~
- (上接第 532 页)
- [21] SCHNEEBELI-HERMANN E, HOCHULI P A, BUCHER H, et al. Palynology of the lower Triassic succession of tulong, south tibet-evidence for early recovery of gymnosperms[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2012, 339/341: 12-24.
- [22] HERMANN E, HOCHULI P A, BUCHER H, et al. Terrestrial ecosystems on North Gondwana following the end-Permian mass extinction[J]. Gondwana Research, 2011, 20(2/3): 630-637.
- [23] 吉利明, 祝幼华. 鄂尔多斯盆地西南部甘肃西峰地区延长组孢粉组合及古气候研究[J]. 微体古生物学报, 2013, 30(4): 367-378.
JI Liming, ZHU Youhua. Sporo-pollen assemblages and paleoclimate of the Yanchang Formation in the Xifeng area, southwestern Ordos Basin, Gansu province, NW China[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 30(4): 367-378.
- [24] 孙旭光, 陈建平, 金奎励. 角质体热解产烃的实验研究[J]. 地质论评, 47(4): 425-432.
SUN Xuguang, CHEN Jianping, JIN Kuili. Experimental study of hydrocarbon-generating potential of cutinite through open-system pyrolysis[J]. Geological Review, 47(4): 425-432.
- [25] ZHANG Mingzhen, JI Liming, WU Yuandong, et al. Palynofacies and geochemical analysis of the Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin; implications for hydrocarbon generation potential and the paleoenvironment of continental source rocks[J]. International Journal of Coal Geology, 152: 159-176.
- [26] 姚素平, 张科, 胡文瑄, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积有机相[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 74-84.
YAO Suping, ZHANG Ke, HU Wenxuan, et al. Sedimentary organic facies of the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(1): 74-84.
- [27] DUAN Yi, WANG Chuanyuan, ZHENG Chaoyang, et al. Geochemical study of crude oils from Xifeng oilfield of the Ordos Basin, China[J]. Journal Asian Earth Sciences, 2008, 31(4/6): 341-356.
- [28] 白玉彬, 罗静兰, 刘新菊, 等. 鄂尔多斯盆地吴堡地区上三叠统延长组原油地球化学特征及油源对比[J]. 沉积学报, 2013, 31(2): 374-383.
BAI Yubin, LUO Jinglan, LIU Xinju, et al. Geochemical characteristics of crude oil and oil-source correlation in Yanchang Formation (Upper Triassic) in Wubao area, Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(2): 374-383.
- [29] 王香增, 贺永红, 张立宽, 等. 鄂尔多斯盆地吴起—志丹地区长10烃源岩特征与生烃潜力[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(3): 461-469.
WANG Xiangzeng, HE Yonghong, ZHANG Likuan, et al. Geochemical characteristics and hydrocarbon generation potentials of chang 10 source rock in Wuqi-Zhidan area Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(3): 461-469.
- (收稿日期 2016-09-19 改回日期 2017-02-21 责任编辑 张怡)