

文章编号:1009-3850(2011)03-0072-08

川东北地区长兴组-飞仙关组固体沥青的 形貌特征与成因分析

李胜勇, 傅恒, 李仲东, 李秀华, 达丽亚

(成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要:利用扫描电镜观察川东北某地区上二叠统、下三叠统储层固体沥青时,发现固体沥青与显微镜下的无定形、它形充填构造不同,按其外形可分为皮壳状、葡萄状、瘤状、蠕虫状和柿饼状5种类型。其中皮壳状、葡萄状沥青分布在飞仙关组,瘤状、蠕虫状和柿饼状沥青分布在长兴组。根据固体沥青内部鳞片状结构和球粒中间相结构推测其已达高演化阶段。

关键词:长兴组;飞仙关组;固体沥青;形貌特征;川东北

中图分类号:TE122.1⁺16

文献标识码:A

1 引言

固体沥青是油气生成、运移和演化的痕迹,是寻找油气藏的重要标志,同时其丰富的地球化学特征和性质可进行热历史、热成熟以及油源相关性对比等研究^[1~5],因而固体沥青的研究具有重要意义。前人对固体沥青的研究主要集中在沥青的成因和物理化学特征等方面^[2,3,6~8],认为其无定形,常呈它形构造,其形态取决于它们所占有的孔隙形态^[1]。

四川盆地东北部上二叠统长兴组和下三叠统飞仙关组生物礁滩相储层中普遍含有演化程度较高的固体沥青^[9~12],川东北长兴组和飞仙关组储层的固体沥青前人已做过大量研究,其中对于固体沥青的产出形态已有如下认识:刘德汉^[7](1982)认为储层中产出的球粒中间相结构沥青和片状镶嵌结构沥青充分反映了原油裂解气阶段的高温热变质成因,各种球粒状结构可能代表高温热变质作用中与沥青软化熔融有关的各种结构,镶嵌结构为深成变质作用的主要结构;付修根^[13](2005)将碳沥青按宏观产出类型分为脉状、鳞片状、浸染状、眼球囊状

和胶结状;王铜山等^[14](2008)认为飞仙关组储层固体沥青反射率高,双反射明显,为非均质结构储层焦沥青;镜下观察可见,在碳酸盐岩储层的各种孔隙中,沥青呈脉状、球粒状、角片状或块状等它形充填,具有中间相结构和镶嵌状结构特征,反映其高温热变质成因;刘文斌等^[15](2008)根据沥青油浸反光的镜下光性特征和形态,把研究区的沥青分为均质沥青、均匀长条状沥青、镶嵌结构沥青、小球体沥青、针状结构沥青、香肠状沥青、微粒状沥青(动物沥青)等;王涌泉^[16](2009)认为固体沥青具均质或非均质结构,呈条形、环形、它形、椭圆形、星点状、钩状等,还可见一些特殊结构,如球粒中间相结构,片状镶嵌结构等,且同时含有黄铁矿,反映了储层原油受高温热裂解气阶段形成的焦沥青特征。

从上述可看出,所描述的沥青产状反映的主要是沥青所充填的孔隙形态,除球粒中间相结构外,固体沥青较少有自身形貌特征,其整体产状受所充填的空间形态约束。本文在扫描电子显微镜下观察川东北某地区下三叠统飞仙关组和上二叠统长兴组固体沥青时发现,研究区沥青具有特殊形态,不受所充填的空间几何形态约束,按其形貌特征可

分为皮壳状、葡萄状、瘤状、蠕虫状和柿饼状。其中皮壳状沥青和葡萄状沥青分布在三叠系;瘤状、蠕虫状和柿饼状沥青分布在二叠系,且从形貌特征上存在一种相关渐变的关系。

1 样品与仪器

样品取自川东北地区上二叠统长兴组、下三叠统飞仙关组,源自4口井,共6个样品,在扫描电镜下统计了23个视域。沥青的确定经过两个步骤:(1)首先在偏光显微镜下薄片鉴定沥青,如图1所示,所选图片与扫描电镜观察样品井深一致,其中a-b-c属下三叠统飞仙关组,a-b对应于皮壳状沥青,c对应于葡萄状沥青;d-e-f属上二叠统长兴组,d对应于瘤状沥青,e-f分别对应于蠕虫状和柿饼状沥青。

(2)利用牛津能谱仪测试、分析,谱图显示:除不能检测的H元素外,均含元素C、S,部分样品含O、Ca等其它元素,其中C原子百分含量特别高,分析为沥青,本文样品皆为含硫沥青。

沥青形貌图片是使用日立S-4800扫描电子显

微镜观察获得,其使用加速电压20kV,发射电流10mA。放大倍数及比例尺均标记在图上。

3 固体沥青超微形貌特征与成因分析

3.1 皮壳状沥青

皮壳状沥青主要分布于溶蚀孔洞内壁或晶间孔各晶体表面,连续完整度较好,呈皮壳状至薄膜状,皮壳自身较薄,厚2~4μm,其中溶蚀空洞内壁的皮壳表面较平滑,而晶体表面的皮壳状沥青表面相对不平滑。保存完整的皮壳状沥青的轮廓显示了原始溶蚀孔洞的大小、形状。典型皮壳状沥青包壳内少见其它矿物或沥青,显示较多剩余空隙(见图2a)。

另有非典型皮壳状沥青,其中一种是与葡萄状沥青共同贴附于孔隙内壁或其它晶体表面,其中贴于晶体表面的皮壳较薄,表面凹凸不平(图3d);而贴附于溶蚀孔洞内壁的沥青皮壳(图2a中标示B处)放大后可见其表面分布有凹凸不平的颗粒,呈小型的葡萄状,反映它与葡萄状沥青有类似的成因。另一种沥青的皮壳外形保存不完整,厚度较厚,

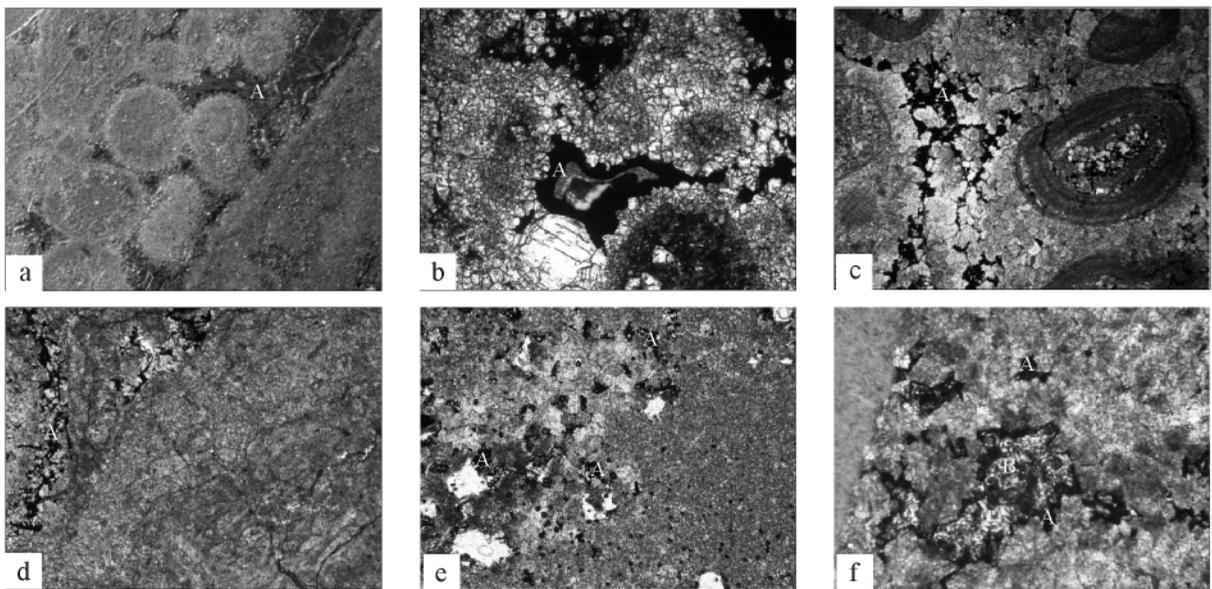


图1 显微镜下薄片中的沥青

a. 亮晶鲕粒灰岩 粒间孔充填沥青(A) 对角线长4mm(反光); b. 亮晶鲕粒灰岩 见油包水(A) 对角线长1.6mm(-); c. 粒间晶间溶孔充填沥青(A) 对角线长4mm(-); d. 微晶骨屑灰岩 溶缝中充填沥青(A) 对角线长4mm(-); e. 微晶白云岩溶孔中充填沥青(A) 对角线长1.6mm(-); f. 粉晶白云岩溶孔溶洞中充填渗流粘土(B) - 沥青(A) 对角线长1.6mm(-)

Fig. 1 Microscopic observation of bitumen

a. Oosparite with intergranular pores filled by bitumen (A) ,4 mm ,reflected light; b. Oosparite with water (A) enclosed by oil. 1.6 mm ,plane-polarized light; c. Intergranular-intercrystal solution openings filled by bitumen (A) ,4 mm ,plane-polarized light; d. Micritic skeletal limestone with fissures filled by bitumen (A) ,4 mm ,plane-polarized light; e. Micritic dolostone with solution openings filled by bitumen (A) ,1.6 mm ,plane-polarized light; f. Micritic dolostone with solution openings filled by vadose clay (B) and bitumen(A) ,1.6 mm ,plane-polarized light

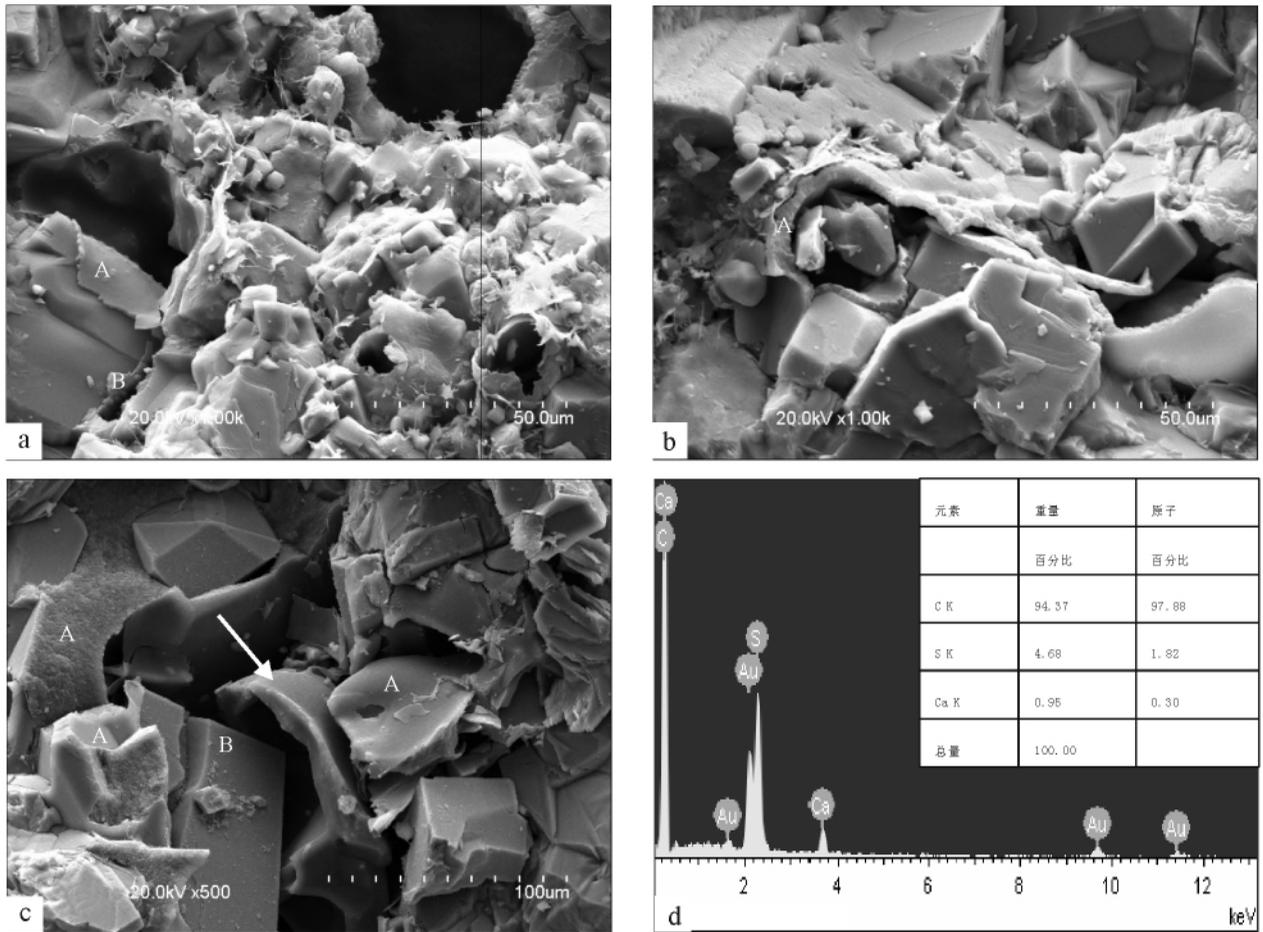


图2 皮壳状沥青(SEM)及其元素谱图

a. 典型皮壳状沥青(A)与表面发生变化的皮壳(B); b. 皮壳状沥青(A); c. 保存不完整的皮壳状沥青(A) 见方解石(B); d. 左图箭头处谱图及元素成分表 含硫沥青

Fig. 2 SEM of crustiform bitumen and associated elemental spectrum

a. Representative crustiform bitumen (A) and changing crust (B); b. Crustiform bitumen (A); c. Poorly-preserved crustiform bitumen (A) and calcite (B); d. Elemental spectrum and compositions

且沥青包壳内可见其它矿物(如图2c中的方解石),显示较少剩余空隙。

3.2 葡萄状沥青

葡萄状沥青因其典型的葡萄形单个颗粒和溶蚀孔中聚集成葡萄串形而命名。其单个个体颗粒较小,长轴短轴比例为 $3\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$,且大小均一、形状稳定,变化小。扫描电镜下观察颗粒表面光滑、洁净,朝向外部的长轴末梢具有棱尖。葡萄状沥青主要有两种分布方式,一种是单层平铺排列于沥青膜上共同附着在其他晶体表面或贴附于溶蚀孔洞内壁;另一种是多个个体颗粒(常多达30颗以上)聚集成葡萄串形分布在溶蚀孔洞内部,形似矿物晶体的簇状集合体,形貌特征明显。葡萄状沥青常成片集中分布,且周围也是葡萄状沥青。

与其它形态的沥青相比较,葡萄状沥青不但单

个体颗粒明显较小,且形态变化小,个体颗粒表面干净,无其它杂物附着。由此推断葡萄状沥青的形成演化环境较单一且稳定。值得注意的是成葡萄串形的葡萄状沥青集合体仅分布在溶蚀孔洞内,说明沥青含量较多,充填了整个孔隙,而单层平铺排列且有基底膜的葡萄状沥青既可以分布在溶蚀孔洞内,也可以分布在其它矿物晶体表面,图3a中方解石晶体三维表面甚至已全部被葡萄状沥青覆盖。

葡萄状沥青要形成葡萄串状集合体对微观环境有特殊要求(沥青的含量、孔隙空间的大小以及微环境是否易受到外部干扰等);同时,单层葡萄状沥青膜总是贴附在溶蚀孔洞内壁或其它矿物晶体表面,反映出其可能为原地演化而成,即系古油藏演化而来^[10]。对于葡萄状沥青,尤其是形似矿物晶体簇状集合体的葡萄串形沥青,其形貌具有一定的复杂

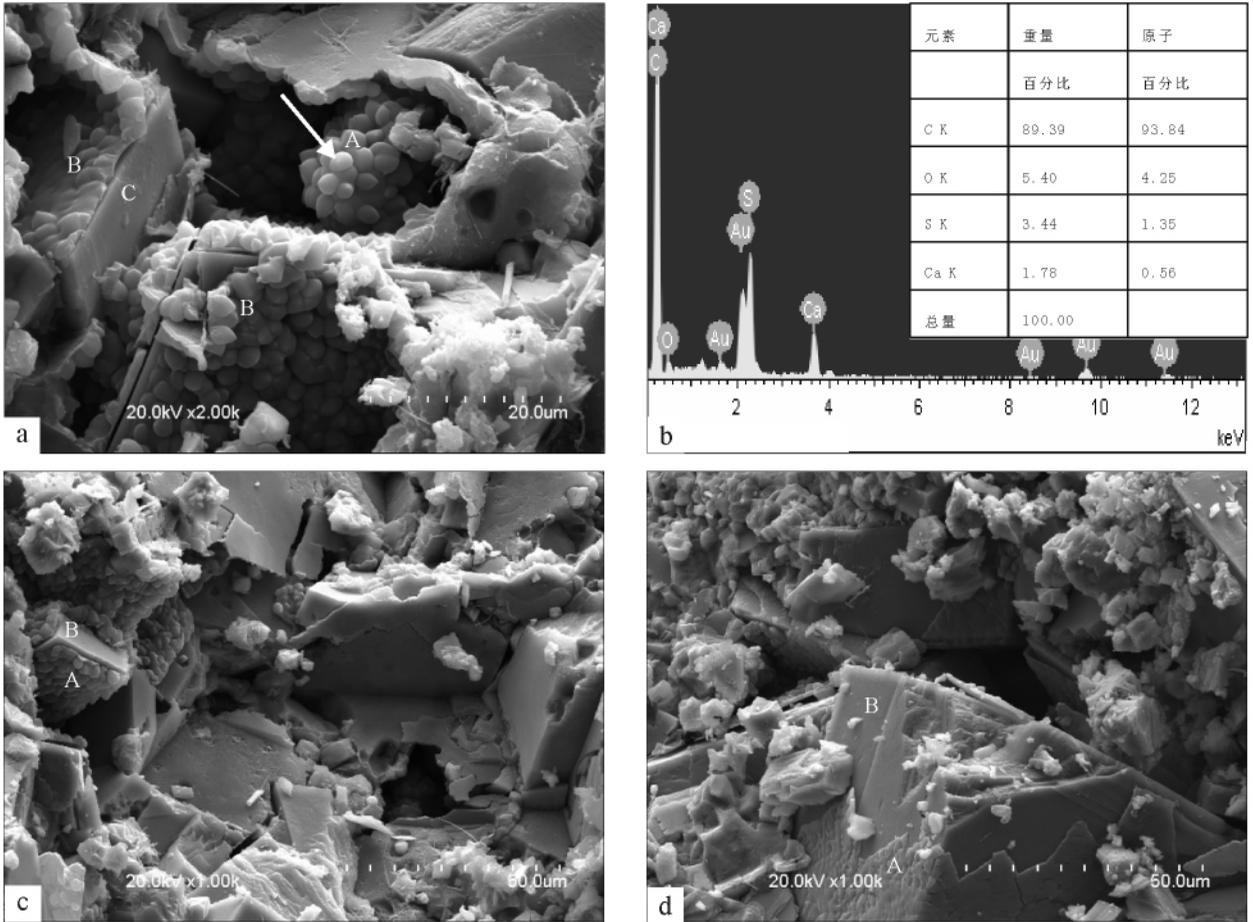


图3 葡萄状沥青(SEM)及其元素谱图

a. 溶孔中葡萄状沥青串形集合体(A)与葡萄状沥青膜(B)覆盖基底为淡水方解石(C); b. 左图箭头处谱图及元素成分表 含硫沥青; c. 单层葡萄状沥青膜(A)覆盖基底为淡水方解石(B); d. 葡萄状沥青膜渐变为皮壳状沥青(A)覆盖基底为淡水方解石(B)

Fig. 3 SEM of botryoidal bitumen and associated elemental spectrum

a. Botryoidal bitumen aggregates (A) and botryoidal bitumen film (B), and fresh-water calcite (C); b. Elemental spectrum and compositions; c. Botryoidal bitumen film (A) and fresh-water calcite (B); d. Botryoidal bitumen film developing into Crustiform bitumen (A), and fresh-water calcite (B)

性和特殊性,它们的成因机理有待进一步更深入的研究。

3.3 瘤状沥青

瘤状沥青外形近似瘤球形或椭球形,单个颗粒直径长40~100μm,其中长轴主要集中在50~70μm,短轴为40~60μm,主要分布于晶间孔、溶蚀孔或镶嵌于骨屑颗粒间。其中镶嵌于颗粒间的瘤球状沥青单个颗粒形态明显,颗粒大小有变化,呈脉状或条带状分布;充填于溶蚀孔中的瘤状沥青分布集中,且均为沥青,无其它矿物,形态明显,杂乱堆积;而紧密充填于晶间孔的瘤状沥青主要为连体分布(图4c),连体长度可至140μm,少见独立个体,连体表面主要呈瘤球状分布,形似球粒中间相结

构^[7,14,16]显示较少剩余孔隙。图4e中瘤状沥青的断裂新鲜面可看见沥青呈明显不同的双层结构。外层为宽约3~5μm的隐晶质状均一体,相当于沥青的表皮;内层已高度鳞片化,总体为单向近平行排列,表现为片状。沥青内外双层结构特征表示沥青单个颗粒内部与表面的演化方式和强度不同,反映了沥青内部与表面经历了不同的温压条件与微环境。推断在形成瘤状沥青外形后,外部环境发生改变,沥青外表冷却速度快于内部,表皮逐步演化为隐晶质状,而内部冷却速度相对较慢(仍处于高温压条件),原子发生重新排列,逐步演化为鳞片状结构,由此可推断此沥青已达高演化阶段^[9-12]。

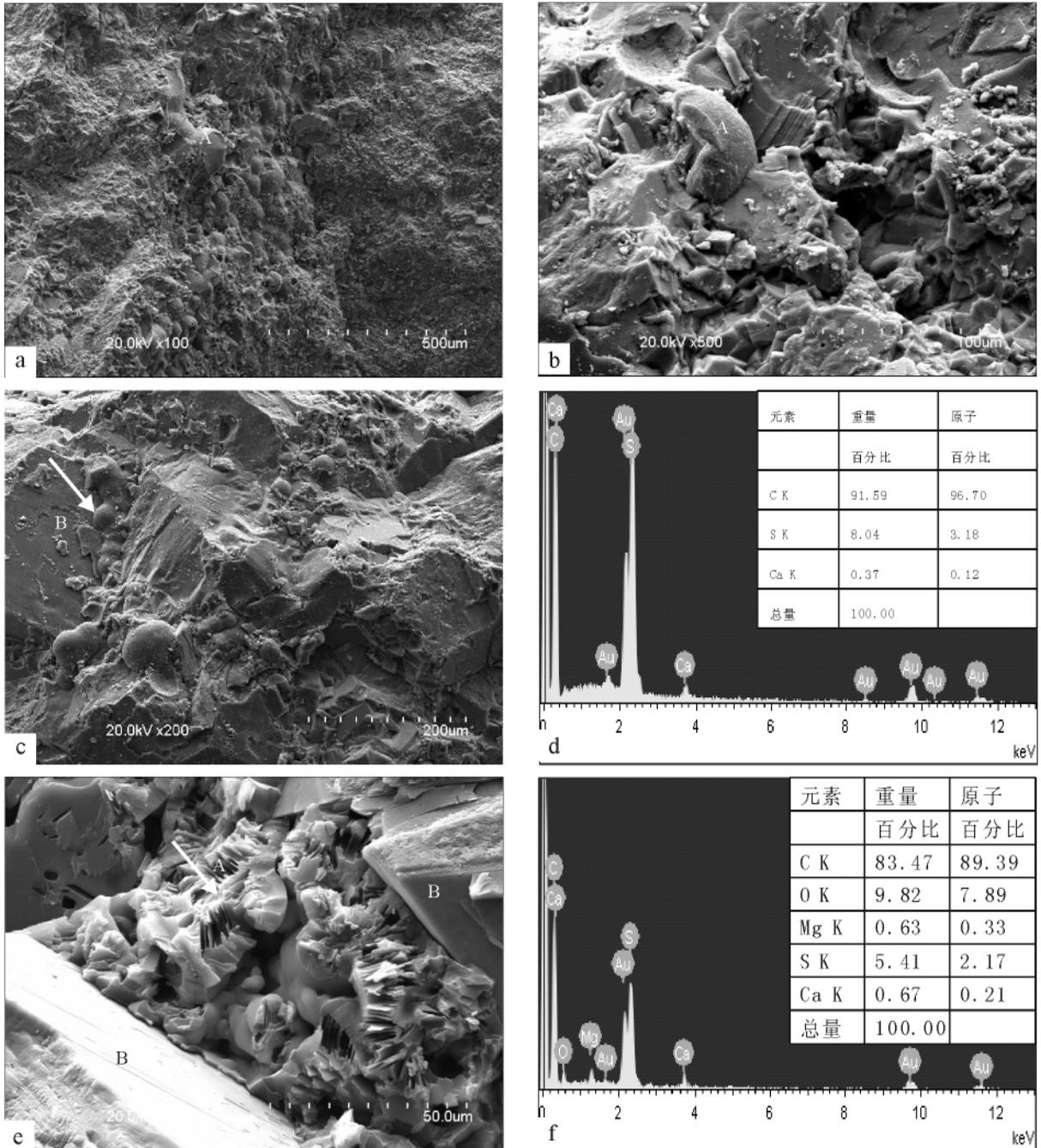


图4 瘤状沥青(SEM) 与沥青鳞片状结构及其元素谱图

a. 瘤状沥青(A) 镶嵌紧密分布; b. 瘤状沥青(A) 单个颗粒形貌; c. 瘤状沥青(A) 充填于淡水方解石(B) 晶间; d. 左图箭头处谱图及元素成分表 含硫沥青; e. 白云石(B) 晶间沥青内部的鳞片状结构(A) ; f. 左图箭头处谱图及元素成分表 含硫沥青

Fig.4 SEM of nodular and scaly bitumen and associated elemental spectra

a. Nodular bitumen (A) in dense arrangement; b. Single nodular bitumen grain (A) ; c. Nodular bitumen (A) filling in fresh-water calcite (B) ; d. Elemental spectrum and associated compositions; e. Scaly textures (A) of bitumen in intercrystal dolomite (B) ; f. Elemental spectrum and compositions

3.4 蠕虫状沥青

典型的蠕虫状沥青呈圆柱状或长条形,或发生扭折,或发生弯曲,表面有时可见揉皱痕,而宽度变化较小,长度各有差异,因形似蠕虫而称之为蠕虫

状(图 5a)。蠕虫状沥青主要充填于溶蚀孔洞内,杂乱堆积,通常显示较多剩余空隙,单个个体颗粒形貌明显,长度 $30 \sim 60 \mu\text{m}$,宽度变化幅度较小,集中在 $20 \sim 25 \mu\text{m}$ 。蠕虫状沥青长轴方向主体表面相对较

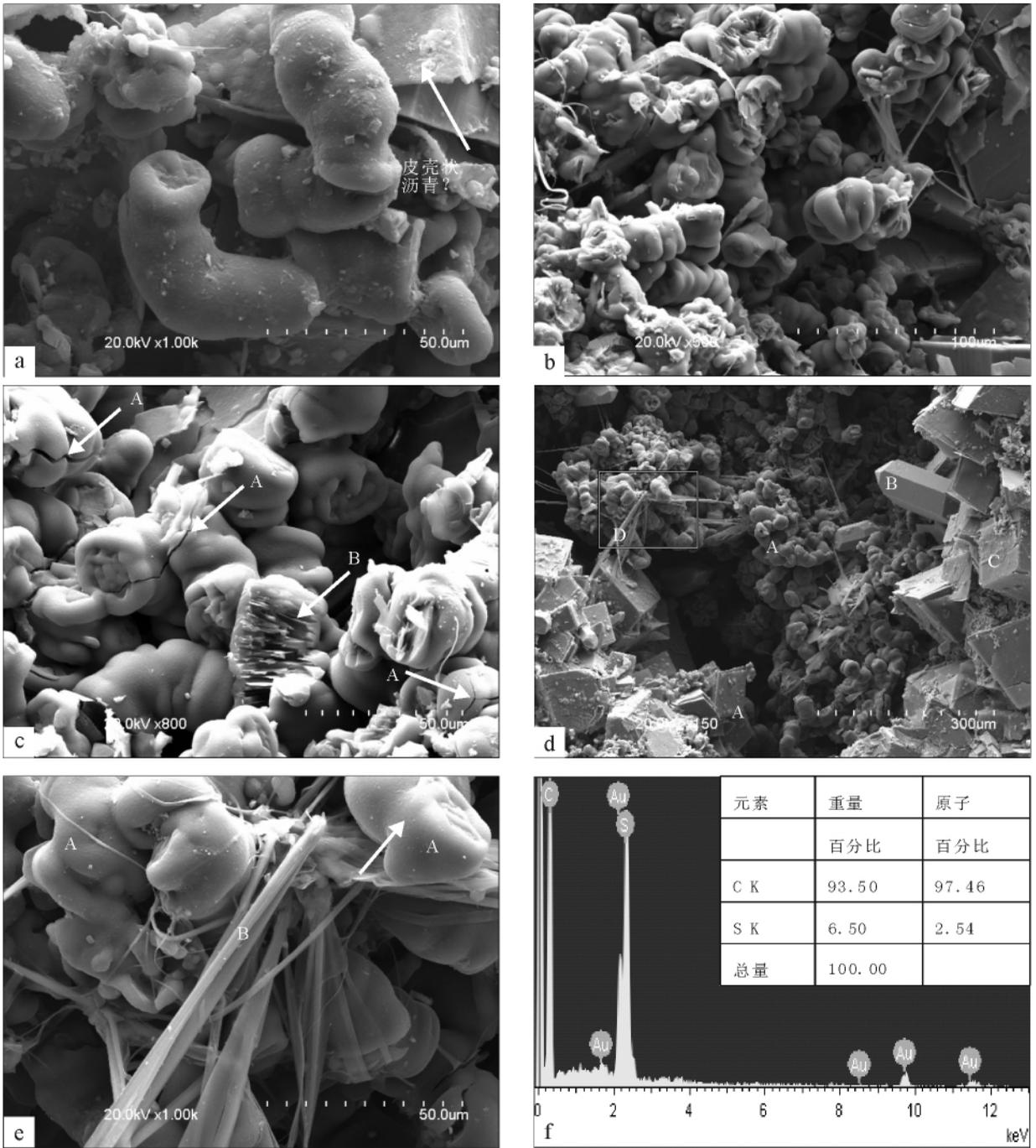


图5 蠕虫状沥青、柿饼状沥青和它们的渐变形态(SEM)及其元素谱图

a. 典型蠕虫状沥青; b. 典型柿饼状沥青; c. 外形渐变的蠕虫状沥青和柿饼状沥青 见微裂缝(A)与内部鳞片状结构(B); d. 蠕虫状沥青(A)见石英(B)、白云石(C)、粘土矿物(D); e. d 图放大区域 蠕虫状沥青(A)被伊利石(B)包裹; f. 左图箭头处谱图及元素成分表 含硫沥青

Fig.5 SEM of vermiform and dried persimmons-like bitumen and associated elemental spectrum

a. Representative vermiform bitumen; b. Representative dried persimmons-like bitumen; c. Developing vermiform bitumen and dried persimmons-like bitumen with microfissures (A) and scaly textures (B); d. Vermiform bitumen (A) with quartz (B) , dolomite (C) and clay minerals (D); e. Vermiform bitumen (A) encased with illite (B); f. Elemental spectrum and compositions

平整,有次一级($< 3\mu\text{m}$)不知名粉屑零星附着其上,长轴末端表面显示出与主体表面不同的形态,其中心表面凹凸不平,与主体表面呈明显对比,显示出一种断裂接触结构。局部视域可观察到形态不甚明朗的蠕虫状沥青,显示出与柿饼状沥青的过渡渐变,其长轴与短轴长度之比变小,长度集中在 $25 \sim 45\mu\text{m}$,单个个体较小,与其它粘土矿物同在一溶蚀孔中,被后期带状伊利石包裹(图5e),与典型的纯沥青充填的孔隙相比,明显地被后期粘土矿物包裹,反映了微观环境的不同或改变。

蠕虫状沥青杂乱不规则堆积于溶缝或溶蚀孔中,且只分布在溶缝和溶蚀孔中,没有像皮壳状和葡萄状沥青贴附于溶缝/溶蚀孔内壁或其它晶体表面,反映了一种运移充注的动态过程,即不是古油藏原地演化而来,而是沥青的次生充填^[17]。另外固体沥青单个颗粒整体形貌呈圆弧形,表面平整光滑,有未知粉屑附着其上,宽度变化不大,只长度略有变化,反映了一种可提供特殊表面张力和特殊温压条件的环境。综合推断其运移过程有其它热流体参加。同时在本文所取样品及其附近发现天青石、菱锶矿、萤石、异形白云石、重晶石等热液型矿物组合,说明热液流体影响的存在。

综上所述,蠕虫状沥青的形貌特征反映了该类型沥青在高温、高压条件下,以热液型流体为载体运移的特点,具有异地或微异地成因^[18];沥青运移时的状态可能为固态或半固态,呈两相或混相运移。后期由于温压条件改变,蠕虫状沥青开始杂乱堆积于溶蚀孔洞中,待流体退出后则留下较多剩余孔隙,有的孔隙被后期的自生粘土充填。

图5a箭头处所指的薄壳疑似皮壳状沥青,其产状与蠕虫状沥青明显不同,并且从其排列方式可推测,形成时间早于蠕虫状沥青,反映了沥青演化的多期次性。

3.5 柿饼状沥青

柿饼状沥青是瘤状沥青和蠕虫状沥青的过渡和渐变形态(图5b)。典型的柿饼状沥青外形近似柿饼形、鼓球形,外围有皱痕,当柔皱更大时甚至出现缝孔而使其具有瓣形形态围绕中心,单个个体长度主要为 $30 \sim 45\mu\text{m}$,宽 $25 \sim 30\mu\text{m}$ 。随着长度和宽度的变化,有的皱痕使其具有形似婴儿拳头的方形,继续变长则有渐变为典型蠕虫状沥青的迹象。同样,柿饼状沥青也主要充填在溶蚀孔缝中,杂乱堆积,有的也可见其它粘土矿物伴生,不过附着在其表面的未知名杂乱粉屑较蠕虫状沥青表面为少。

在一些断面上也可看见同瘤状沥青内部高度鳞片化的现象,且外层表皮厚度减薄,这可能跟形态结构有关,也可能反映了微环境的不同,同时在图5c中还可看见沥青个体颗粒存在次一级的超微裂缝,但不能确定其裂缝是否因外部温压条件改变还是沥青自身演化所致。

4 结 论

(1) 皮壳状沥青和葡萄状沥青都产于飞仙关组,它们有共同点也有区别:均有反映原始孔隙大小和形状的贴壁皮壳或单层葡萄状膜,为古油藏原地演化而来;不同点是前者只有单层皮壳状沥青存在,孔洞内少见其它矿物或沥青,而后者不但具有单层排列的葡萄状沥青,且溶蚀孔洞内充填有串形的葡萄状沥青集合体,这反映了古油藏密度的差别。

(2) 瘤状沥青与蠕虫状、柿饼状沥青产于长兴组,它们在形态上存在着一定渐变性和联系,但其分布范围和充填形态有一定差别。瘤状沥青充填的晶间孔常显示较少剩余孔隙,而蠕虫状沥青和柿饼状沥青充填的溶蚀孔缝常显示较多剩余孔隙,没有明显形貌特征反映瘤状沥青演化是原地还是异地。

(3) 蠕虫状沥青和柿饼状沥青主体表面相似,形态有着渐变性,且同样杂乱堆积于溶蚀孔洞中,具有很多相似特征,反映为同一演化系列的产物。同时,这两种形态沥青样品取自同一井,井深相差小,具有同时、同地、同源的性质。根据蠕虫状和柿饼状沥青的形貌特征推断其为固体运移沥青,在高温、高压态势下以热液流体为载体,呈固态或半固态以两相或混相运移,具有异地或微异地成因的特点。蠕虫状、柿饼状和瘤状沥青的双层结构内部高度鳞片化,推断沥青的演化程度已很高。

参考文献:

- [1] JACOB H. Classification, structure, genesis and practical importance of natural solid oil bitumen (Migra-bitumen) [J]. Int. J. Coal Geol. 1989, 11(1): 65-79.
- [2] JACOB H. Disperse, solid bitumens as an indicator for migration and maturity in prospecting for oil and gas [J]. Erdol and Kohle 1985, 38: 364-366.
- [3] CURIA E J A. Origin of solid bitumens, with emphasis on biological marker results [J]. Organic Geochemistry, 1986, 10(1-3): 559-580.
- [4] 张敏, 蔡春芳, 张俊. 油气藏中沥青垫的研究进展 [J]. 地质科技情报, 1997, 16(1): 81-84.

- [5] 凡元芳. 储层沥青的研究进展及存在问题[J]. 石油地质与工程, 2009, 23(6): 35-38.
- [6] 张景廉, 朱炳泉, 涂湘林, 等. 关于沥青成因的讨论[J]. 海相油气地质, 1997, 2(4): 53-57.
- [7] 刘德汉, 周中毅, 贾蓉芬, 等. 碳酸盐生油岩中沥青变质程度和沥青热变质实验[J]. 地球化学, 1982, (3): 237-243.
- [8] 蔡勋育, 朱扬明, 黄仁春. 普光气田沥青地球化学特征及成因[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27: 340-346.
- [9] 谢增业, 田世澄, 魏国齐, 等. 川东北飞仙关组储层沥青与古油藏研究[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(3): 282-288.
- [10] 秦建中, 付小东, 刘效曾. 四川盆地东北部气田海相碳酸盐岩储层固体沥青研究[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1065-1071.
- [11] 杨家静, 王一刚, 王兰生, 等. 四川盆地东部长兴组-飞仙关组气藏地球化学特征及气源探讨[J]. 沉积学报, 2002, 20(2): 349-352.
- [12] 林峰, 王廷栋, 代鸿鸣, 等. 四川盆地碳酸盐岩储层中固体运移沥青的性质和成因[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1998, 17(3): 174-178.
- [13] 付修根, 林丽, 庞艳春, 等. 金顶铅锌矿床中碳沥青的分布特征及成矿作用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2005, 35(5): 581-586.
- [14] 王铜山, 耿安松, 孙永革, 等. 川东北飞仙关组储层固体沥青地球化学特征及其气源指示意义[J]. 沉积学报, 2008, 26(2): 340-348.
- [15] 刘文斌, 秦建中, 孟庆强, 等. 川东北地区飞仙关组-长兴组储层沥青反射率及含硫量特征[J]. 地质学报, 2008, 82(3): 373-379.
- [16] 王涌泉. 川东北固体沥青的形态和分类研究[J]. 中国科技信息, 2009(10): 90-91.
- [17] 陈安定, 黄金明, 杨芝文, 等. 皖南-浙西下古生界碳沥青成因及南方海相“有效烃源岩”问题探讨[J]. 海相油气地质, 2004, 9(1-2): 77-83.
- [18] 王飞宇, 何萍, 程顶胜, 等. 下古生界高一过成熟烃源岩有机成熟度评价[J]. 天然气地球科学, 1994, 26(5): 1-14.

Morphology and genesis of the solid bitumen from the Changxing Formation-Feixianguan Formation in northeastern Sichuan

LI Sheng-yong, FU Heng, LI Zhong-dong, LI Xiu-hua, DA Li-ya

(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: The SEM examination of the solid bitumen from the Upper Permian to the Lower Triassic reservoirs in northeastern Sichuan shows the morphological features of the solid bitumen including crustiform, botryoidal, nodular, vermiform and dried persimmons-like features, of which the crustiform and botryoidal solid bitumen is dispersed in the Triassic reservoirs, while the nodular, vermiform and dried persimmons-like solid bitumen occurs in the Permian reservoirs. The differences in occurrence represent distinct genesis and evolutionary phases of the bitumen. It is inferred from the scaly textures and pelleted mesophase textures that the bitumen has entered into high-grade evolutionary stages.

Key words: Changxing Formation; Feixianguan Formation; solid bitumen; morphological feature; northeastern Sichuan