

吉木萨尔凹陷二叠系芦草沟组烃源岩 有机岩石学特征及其赋存状态

曲长胜^{1,2}, 邱隆伟^{1,2}, 操应长^{1,2}, 杨勇强^{1,2}, 陈程^{1,2},
余宽宏^{1,2}, 万敏³, 杜蕊⁴

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580; 2. 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东青岛 266071; 3. 中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院, 新疆克拉玛依 834000;
4. 中石化胜利油田石油工程有限公司测井公司, 山东东营 257096)

摘要:综合运用岩心观察、薄片鉴定、地球化学参数分析等方法, 对准噶尔盆地吉木萨尔凹陷吉 32 井二叠系芦草沟组烃源岩开展了有机岩石学精细研究。结果表明: 综合反射光、透射光特征, 烃源岩有机质赋存形式划分为有形态有机质、无形态有机质和次生有机质, 有机显微组分划分为 5 组 12 组分, 以腐泥组无结构藻类体和沥青质体为主, 次生组分含量普遍较高, 镜质组和惰质组含量较低, 壳质组含量极少; 依据有机质组分荧光性、含量、形态等特征, 有机显微组分在岩石矿物中具有 5 种赋存状态, 有机显微组分类型及含量具有显著的非均质性, 与所赋存的岩石岩性组分、结构、构造具有明显的对应关系; 腐泥组无结构藻类体和不定形体等富氢有机组分与有机碳含量和生烃潜力呈正相关关系, 为该区主要的生烃有机组分。

关键词:有机岩石学; 显微组分; 烃源岩; 芦草沟组; 吉木萨尔凹陷

中图分类号: TE 122.2 **文献标志码:** A

引用格式: 曲长胜, 邱隆伟, 操应长, 等. 吉木萨尔凹陷二叠系芦草沟组烃源岩有机岩石学特征及其赋存状态[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2017, 41(2): 30-38.

QU Changsheng, QIU Longwei, CAO Yingchang, et al. Organic petrology characteristics and occurrence of source rocks in Permian Lucaogou Formation, Jimsar sag[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2017, 41(2): 30-38.

Organic petrology characteristics and occurrence of source rocks in Permian Lucaogou Formation, Jimsar sag

QU Changsheng^{1,2}, QIU Longwei^{1,2}, CAO Yingchang^{1,2}, YANG Yongqiang^{1,2}, CHEN Cheng^{1,2},
YU Kuanhong^{1,2}, WAN Min³, DU Rui⁴

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. Laboratory for Marine Mineral Resources, National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China;

3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company PetroChina, Karamay 834000, China;

4. Well Logging Company, Shengli Petroleum Engineering Company Limited, SINOPEC, Dongying 257096, China)

Abstract: Based on the core observation, thin section authentication and geochemical parameters analysis, the detailed study of organic petrology was conducted for the source rocks from the Permian Lucaogou Formation in Jimsar sag of the Junggar Basin. The modes of occurrence of organic matter in these source rocks were structurally recognized as structural maceral, amorphous maceral, and secondary maceral with the aid of reflected and transmitted light petrography, the organic macerals mentioned above were divided into five groups (sapropelineie, exinite, vitrinite, inertinite, and secondary maceral) and further twelve sub-fractions,

收稿日期: 2016-11-21

基金项目: 国家“973”计划项目(2014CB239002); 山东省自然科学基金青年基金项目(ZR2014DQ016)

作者简介: 曲长胜(1979-), 男, 博士研究生, 研究方向为沉积学及层序地层学。E-mail: changshengqu@126.com。

通讯作者: 邱隆伟(1967-), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为矿物岩石学、沉积学及储层地质学。E-mail: qiulwsd@163.com。

which was dominated by unstructural algae and asphaltene, the content of secondary macerals was generally higher, while the contents of vitrinite and inertinite were relative low and exinite occurred in minute amounts. According to the fluorescence, content and shape of organic maceral, the source rocks show strong heterogeneity in the types and contents of the components with respect to rocks types with various lithologies, textures and sedimentary structures. The total organic carbon contents and hydrocarbon generation potential are strongly correlated with the amount of unstructural algae and amorphous macerals, which suggests that unstructural algae and amorphous macerals are major components for the hydrocarbon generation in the Lucaogou Formation.

Keywords: organic petrology; maceral; source rock; Lucaogou Formation; Jimsar sag

准噶尔盆地碳酸盐岩致密油受到广泛关注,尤其是近年来吉木萨尔凹陷芦草沟组碳酸盐岩致密油取得了重大突破,表明碳酸盐岩致密油是非常规油气勘探的重要油气类型^[1-2]。致密油烃源岩与储集岩紧密互层或紧邻,油气未经过长距离运移聚集在储集层中,具有“近源成藏”的特点^[3-4]。对吉木萨尔凹陷芦草沟组致密油烃源岩特征的研究,在烃源岩类型、成熟度、生烃潜力、有机碳含量下限等方面取得了一些认识^[5-7]。全岩法利用光学显微镜对岩石中有机显微组分特征、成因等进行研究,能够更为准确地识别有机组分原始结构、产状及其在矿物中赋存状态及共生关系^[8-11]。笔者基于全岩光片和干酪根薄片,利用透射光、反射白光及反射荧光开展综合观察,结合X射线衍射分析、扫描电镜、能谱分析和地球化学参数等,对吉木萨尔凹陷芦草沟组下甜点段致密碳酸盐岩烃源岩开展系统的有机岩石学分析,明确富有机质组分、特征、赋存状态等。

1 区域地质概况

吉木萨尔凹陷位于准噶尔盆地东南缘帐北断褶带以东,是一个西深东浅、西断东超的箕状凹陷。凹陷北部以吉木萨尔断裂为界与沙奇凸起相邻,西边以西地断裂、老庄湾断裂与北三台凸起相接,南部以三台断裂为界,东部以逐渐抬升的斜坡过渡到古西凸起。凹陷南北宽约30 km,东西长约60 km,面积约为1500 km²^[5,12]。该区经历了海西运动以来多期构造运动,沉积了石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系及第四系,地层厚度呈现由西向东逐渐减薄的变化规律。该区二叠系自下往上依次为井子沟组、芦草沟组和梧桐沟组^[13]。吉木萨尔凹陷芦草沟组全凹陷分布,以半深湖—深湖相沉积为主,是该凹陷最主要的烃源岩,具有厚度大、面积广的特点,其中厚度大于200 m的有利区面积达806 km²。芦草沟组是致密油产出的主力层系,由芦草沟组一段和二段组成,其中芦草沟组二段二层组(P₂l₂²)为上甜点段,芦草沟组一段二层组(P₂l₁²)为

下甜点段(图1)^[6,14]。

2 岩石学特征

吉木萨尔凹陷芦草沟组甜点段矿物成分复杂、岩石组分多样,岩性可分为火山碎屑岩类、火山岩—沉积碎屑岩类、内源沉积岩类和陆源碎屑岩类^[15],多为碎屑沉积岩与化学沉积岩过渡或者火山碎屑岩与正常沉积岩过渡的混合沉积岩类^[16]。在系统观察岩心基础上,结合普通薄片、扫描电镜观察,综合X射线衍射分析结果,分析了吉32井芦草沟组下甜点段岩性特征及变化规律。结果表明,该段岩性厚度普遍较薄,频繁互层,纵向上岩性的变化规律能够反映出湖水水位频繁波动、由深变浅的沉积环境。依据岩性、粒度、构造特征将取心段划分为5期沉积旋回,单期沉积旋回底部岩性为含方解石脉黑色块状含凝灰泥晶白云岩,方解石脉体发育密集成层,与其紧密相邻的岩性为黑色块状含凝灰泥晶白云岩,旋回中部岩性夹有薄层灰色细粒凝灰颗粒,且条带层数逐渐增多、厚度变厚,为含凝灰或凝灰质白云岩;旋回顶部岩性为厚层或透镜状灰黑色含云或云质凝灰岩(图2(a)~(h))。显微镜下观察、X射线衍射分析和扫描电镜观察结果表明,矿物组分包括石英、长石和碳酸盐岩、黄铁矿及黏土矿物等。碳酸盐岩矿物主要为白云石,白云石晶粒细小,为泥晶、微晶结构,扫描电镜下晶体紧密镶嵌,常为半自形—他形,呈砂糖状、微球状(图2(i)、(j))。方解石仅在局部层段发育,岩心观察易于识别,具有晶体粗大的特征,颗粒镶嵌结构,自形程度较高(图2(a)、(k))。石英粒度较细,呈泥级—砂级。长石以钠长石为主,泥级—粉砂级,呈板条状或棱角状,多与石英混杂堆积(图2(l)、(m))。黄铁矿发育,呈团块状、长条状、斑点状分布。黏土矿物含量较低,含量低于7%。有机质含量普遍较高,不同岩性间存在较大变化(图2(n)~(p))。图2中:(a)吉32井,3731.45 m,含方解石脉含凝灰泥晶云岩,方解石脉体粗大;(b)吉32井,3730.50 m,黑色块状含凝灰泥晶

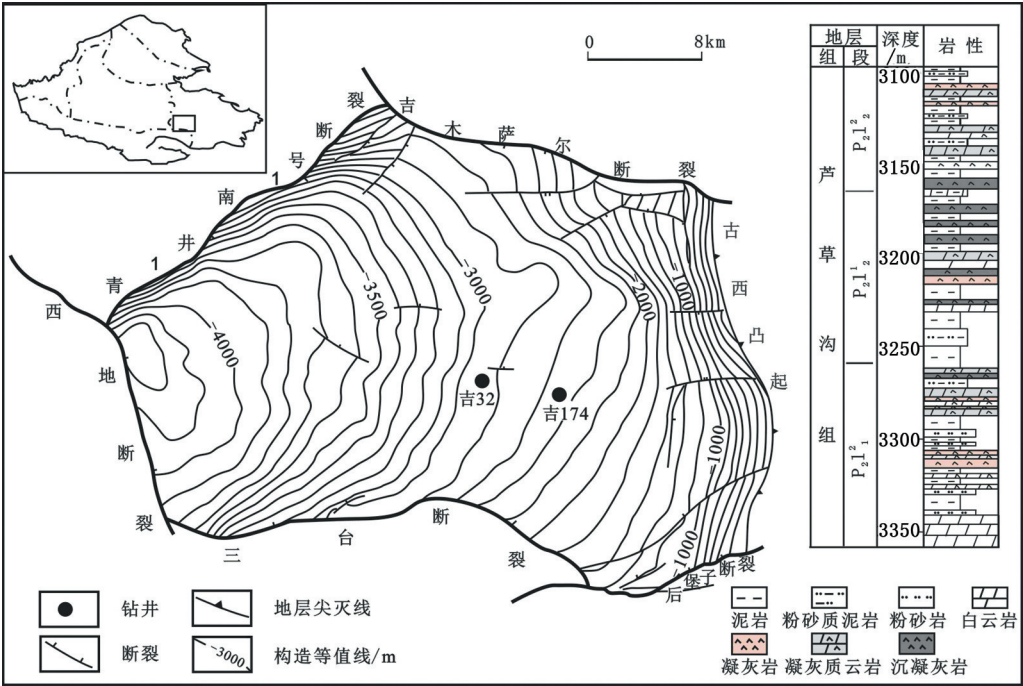


图 1 吉木萨尔凹陷芦草沟组构造位置及构造概况

Fig. 1 Location and geological setting of Lucaogou Formation, Jimsar sag

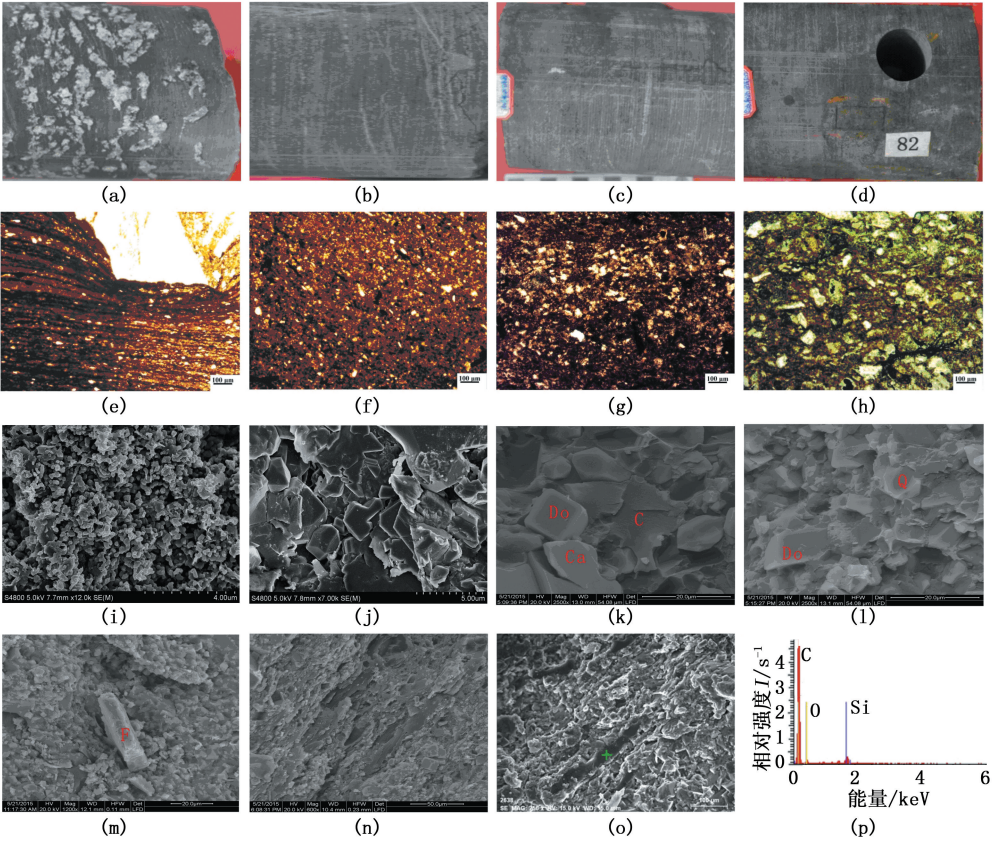


图 2 吉木萨尔凹陷吉 32 井芦草沟组烃源岩类型及特征

Fig. 2 Types and characteristics of source rocks of well Ji32 in Lucaogou Formation, Jimsar sag

白云岩;(c)吉 32 井,3 729. 20 m,云质凝灰岩;(d) 32 井,3 731. 45 m,含方解石脉含凝灰泥晶白云岩;
吉 32 井,3 729. 90 m,灰色块状含云凝灰岩;(e)吉 (f)吉 32 井,3 730. 50 m,黑色块状含凝灰泥晶白云

岩;(g)吉 32 井,3 729. 20 m,云质凝灰岩;(h)吉 32 井,3 729. 90 m,灰色块状含云凝灰岩;(i)吉 32 井,3 729. 60 m,泥晶白云岩,呈砂糖状;(j)吉 32 井,3 729. 60 m,细-粉晶白云岩,晶体半自形;(k)吉 32 井,3 728. 90 m,黑色块状含凝灰泥晶白云岩,见他形方解石、白云石、碳质;(l)吉 32 井,3 728. 90 m,黑色块状含凝灰泥晶白云岩,见石英;(m)吉 32 井,3 730. 50 m,含凝灰白云岩,见长石;(n)吉 32 井,3 727. 95 m,黑色块状含凝灰泥晶白云岩,藻类体发育,见细小白云石颗粒;(o)吉 32 井,3 733. 10 m,黑色块状含凝灰泥晶白云岩,藻类体中发育微晶白云石、长石颗粒;(p)十字交叉点处能谱组成。

3 有机显微组分特征

综合全岩光片、干酪根薄片、荧光薄片的观察,根

表 1 吉木萨尔凹陷吉 32 井芦草沟组烃源岩显微组分及含量

Table 1 Composition and content of source rock macerals of well Ji32 in Lucaogou Formation, Jimsar sag													
井段/m	岩性	腐泥组/%				壳质组/%		镜质组/%			惰质组/%	次生组/%	
		结构藻类体	无结构藻类体	沥青质体	矿物沥青基质	孢粉体	壳屑体	结构镜质体	无结构镜质体	镜屑体	惰屑体	沥青	有机包裹体
3 727. 60	含方解石脉含凝灰泥晶白云岩	0. 1	1. 1	6. 5	2. 3	0. 4	0. 5	0. 1	1. 0	0. 3	0. 6	1. 0	2. 3
3 727. 95	含凝灰泥晶白云岩		24. 5	3. 6	15. 0		0. 2	0. 1	1. 0	0. 2	0. 3	0. 5	0. 4
3 728. 30	凝灰质白云岩		0. 7	3. 5	0. 8		0. 4		0. 5	0. 1		0. 7	1. 5
3 728. 60	含凝灰白云岩		4. 5	6. 7	0. 5		0. 1		0. 8	0. 1	0. 1	0. 5	0. 8
3 729. 00	云质凝灰岩			1. 2			0. 2		1. 7	0. 1	0. 2	0. 8	6. 5
3 729. 20	云质凝灰岩			0. 5			0. 1		1. 5	0. 3	0. 2	0. 6	5. 9
3 729. 60	含云凝灰岩			0. 5			0. 1		0. 6	0. 2	0. 1	0. 5	5. 8
3 729. 90	含云凝灰岩			0. 4			0. 1		0. 3	0. 1		0. 4	5. 5
3 730. 50	含凝灰白云岩	0. 5	5. 5	11. 2			0. 2		1. 5	0. 1	0. 3	0. 3	
3 731. 45	含方解石脉含凝灰泥晶白云岩		22. 0	3. 4	16. 0		0. 2		3. 5	0. 4	0. 6	0. 3	0. 5
3 732. 40	含云凝灰岩			0. 6			0. 1		0. 3	0. 1	0. 1	0. 1	6. 5
3 732. 80	含凝灰白云岩		3. 4	15. 0			0. 3		1. 8	0. 2	0. 5	1. 7	0. 8
3 733. 00	含凝灰白云岩	2. 5	2. 0	6. 0	1. 5		0. 1		2. 3	0. 4	0. 3	1. 0	2. 5
3 733. 10	含方解石脉含凝灰泥晶白云岩		13. 8	6. 3	5. 3		0. 5		1. 5	0. 3	0. 6	1. 5	0. 8

3.1 腐泥组

腐泥组主要是藻类体及其他低等水生生物的腐泥化作用产物。腐泥组包括藻类体和无定形体两类,藻类体可分为结构藻类体和无结构藻类体,无定形体包括矿物沥青基质和沥青质体^[8,17-20]。

吉木萨尔凹陷芦草沟组烃源岩中结构藻类体仅在部分样品中出现,且含量极少,呈圆形、椭圆形,强橙黄色荧光(图 3(a)、(b))。层状藻类体为丝线状藻类残体的集合体或藻类遭受强烈分解产物的纹层状集合体,由于藻类体经历了成岩早期的凝胶化作用和热演化的成熟作用后,导致藻类类型难以确

据有机质显微组分成因、光性特征、形态和结构^[8,17-20],吉木萨尔凹陷芦草沟组下甜点段烃源岩有机质的赋存形式分为有形态有机质、无形态有机质和次生有机质 3 类,有机显微组分细分为腐泥组、壳质组、镜质组、惰质组和次生组 5 组 12 组分(表 1)。有形态有机质包括藻类的残体、呈颗粒状、块状的陆生高等植物碎屑。无形态有机质为无固定形态结构的沥青质体,矿物沥青基质。次生有机质包括包裹类有机质和充填类有机质,包裹类有机质是指包裹在碳酸盐岩矿物晶格中的有机包裹体,方解石脉体中尤为发育。充填类有机质是指赋存于原地或脉体、裂缝及孔隙中的沥青有机质。吉木萨尔凹陷芦草沟组下甜点段烃源岩有机显微组分以腐泥组最发育,次生组含量次之,可见少量镜质组和惰质组,壳质组极为少见。

定^[20]。镜下观察结果表明,研究区烃源岩层状藻类体极为发育,呈丝线顺层状分布,颗粒大小、富集程度存在较大差异,含量高聚集成藻纹层,藻纹层表现亮黄色-橙黄色荧光(图 3(c)~(e))。

沥青质体与藻类、浮游生物、真菌、细菌的新陈代谢和降解作用有关^[8,17-20]。芦草沟组沥青质体在各类岩性中均有发育,含量较高,无固定形态,多呈条带状、小透镜状或基质状态。沥青质体呈暗橙色、暗红色或暗褐色荧光,弱-中强。反射白光下暗褐至黑灰色(图 3(e)~(h))。

矿物沥青基质为无机矿物与超细有机物甚至分

子级有机质的混合物,有机质能够与矿物紧密共生,甚至分布于矿物间及表面。对于生油岩而言,“隐藏”在矿物沥青基质中的有机质数量通常大大超过其他有机显微组分。矿物沥青基质中存在的大量亚显微级无定形有机质对有机质类型的划分、有机质的生烃能力都有重要的影响^[8,21]。吉木萨尔凹陷芦草沟组矿物沥青基质含量相对较高,在显微荧光下呈现橙黄—亮黄色迷雾状荧光,或微弱亮黄色荧光。反射白光下呈现黑褐色,多呈不规则形状散布于岩样中。

3.2 壳质组

壳质组多来源于高等植物的孢子、花粉和角质层等组织器官及植物组织的分泌物,主要为孢子体、树脂体、角质体、木栓质体、荧光质体及壳屑体等^[8,17-20]。吉木萨尔凹陷烃源岩中的壳质组包含壳屑体和孢粉体,以壳屑体为主,偶见孢粉体。壳屑体泛指小于3 μm ,具有壳质组光性的碎屑状有机质,由于碎屑颗粒太小无法识别其来源。壳屑体呈破碎粒状镶嵌在矿物基质中,呈黄色、褐黄色荧光,反射光表现为灰白色。孢粉体呈细条状,单独沿层分布,具橙黄色强荧光(图3(i))。

3.3 镜质组

镜质组来源于高等植物木质纤维组织的凝胶化作用产物,是烃源岩中主要的显微组分之一。根据细胞结构保存程度,正常镜质体可分为结构镜质体、无结构镜质体和镜屑体^[8,17-20]。吉木萨尔凹陷芦草沟组镜质组以无结构镜质体和镜屑体为主,结构镜质体含量极低,岩样中偶见或未见。无结构镜质体以颗粒状、块状零星分布为主。在反射白光下呈灰色至灰白色(图3(j)~(l))。

3.4 惰质组

惰质组主要形成于充氧环境,氧化作用使原始植物木质纤维组织及其凝胶化作用产物发生丝炭化作用,进而形成惰质组分。盆地边缘的干旱气候和森林火灾也是惰质组分物质形成的主要原因。可进一步分为丝质体、半丝质体、粗粒体、菌类体、惰屑体^[8,17-20]。吉木萨尔凹陷芦草沟组惰质组类型单一,以惰屑体为主,含量低。惰质组在反射光下,白色至亮黄白色;透射光下不透明,深棕黑色至黑色。研究区惰屑体粒径小于5 μm ,含量存在明显非均质性,粒度更细的岩样中含量略高,表明研究区细小惰屑体颗粒稳定性好,易于搬运而在深水区富集(图3(l)~(o))。

3.5 次生组

吉木萨尔凹陷芦草沟组样品中均发育有次生组

分,次生有机组分主要包括沥青和有机质包裹体两种。根据产状及形成作用方式,沥青可分为原地沥青、运移沥青及再循环沥青^[8,17-20]。研究区以原地沥青和运移沥青为主,原地沥青形态上有球状、颗粒状和块状,表面均一,反射光呈灰—灰白色,分布在矿物岩石基质中(图3(h))。运移沥青充填在方解石脉体和裂缝中。岩心中存在方解石脉体密集层,方解石脉体中普遍具有烃类浸染晶格、气态、液态烃包裹体存在的现象。在蓝紫光的照射下,方解石脉体微裂隙、溶蚀微孔隙中充填的运移沥青发暗褐色荧光。方解石晶格中存在烃类浸染,发浅橙黄色荧光,方解石脉体中液态有机包裹体发亮蓝白色荧光,包裹体大小为几个微米至十几个微米(图3(p))。图3中:(a)结构藻类体,蓝紫光激发荧光,200倍,吉32井,3733.00 m,含凝灰白云岩,全岩光片;(b)结构藻类,蓝紫光激发荧光,500倍,吉32井,3733.00 m,含凝灰白云岩,全岩光片;(c)层状藻,降解藻,蓝紫光激发荧光,吉32,3731.40 m,含方解石脉含凝灰泥晶白云岩,200倍;(d)层状藻、惰屑体,蓝紫光激发荧光,500倍,吉32井,3727.95 m,含凝灰泥晶白云岩,全岩光片;(e)无结构藻类体、沥青质体,蓝紫光激发,500倍,吉32井,3728.30 m,凝灰质白云岩,全岩光片;(f)同一视域,无结构藻类体、沥青质体,反射白光,500倍,吉32井,3728.30 m,凝灰质白云岩,全岩光片;(g)沥青质体、沥青,蓝紫光激发荧光,500倍,吉32井,3728.60 m,含凝灰白云岩,全岩光片;(h)沥青质体、沥青,反射白光,500倍,吉32井,3728.60 m,含凝灰白云岩,全岩光片;(i)孢子体,蓝紫光激发荧光,500倍,吉32井,3727.60 m,含凝灰泥晶白云岩,全岩光片;(j)镜质组,蓝紫光激发荧光,500倍,吉32井,3727.95 m,含凝灰泥晶白云岩,全岩光片;(k)同一视域,镜质组,反射白光,500倍,吉32井,3727.95 m,含凝灰泥晶白云岩,全岩光片;(l)无结构镜质体、惰屑体,反射白光,500倍,吉32井,3727.60 m,含凝灰泥晶白云岩,全岩光片;(m)与d同一视域,层状藻、惰屑体,反射白光,500倍,吉32井,3727.95 m,含凝灰泥晶白云岩,全岩光片;(n)腐泥无定形体、惰屑体,透射白光,200倍,吉32井,3728.60 m,含凝灰白云岩;(o)同一视域,腐泥无定形体,藻类降解严重,蓝紫光激发荧光,呈黄褐色荧光,惰屑体不发光,吉32井,3728.60 m,含凝灰白云岩,200倍;(p)方解石脉体中烃类体及沥青;轻质烃类组分发白色荧光,方解石脉体浸染烃类体,吉32井,3731.45 m,含方解石脉含凝灰泥晶白云岩,100倍。

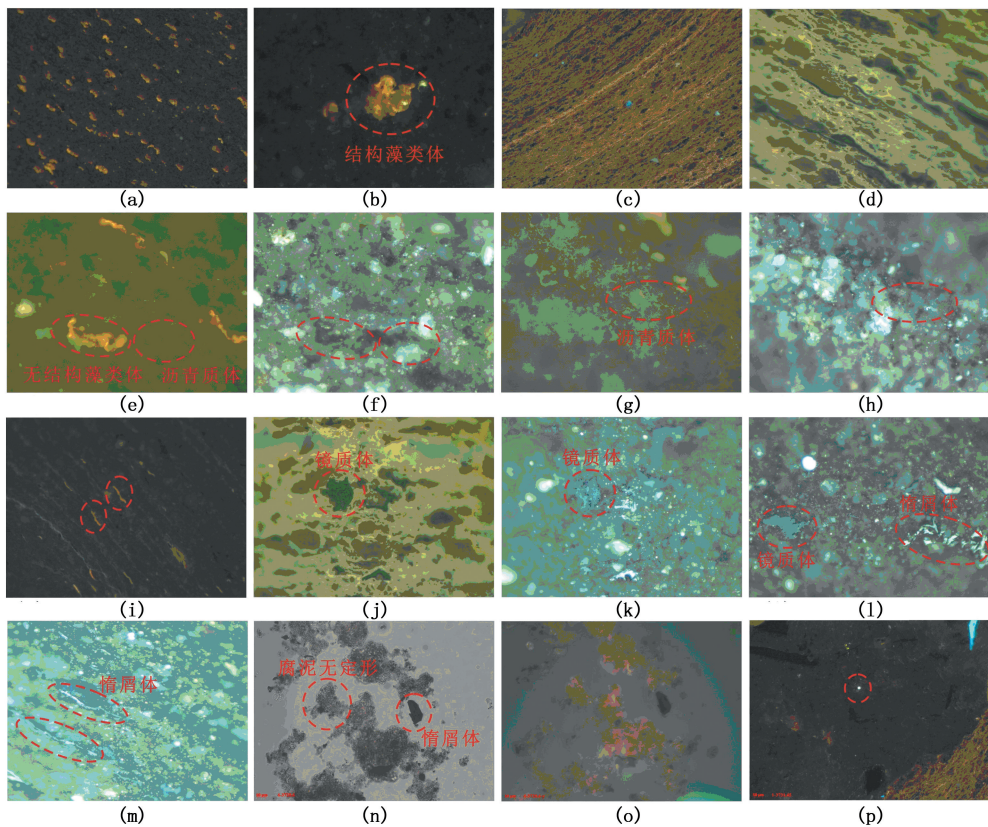


图 3 吉木萨尔凹陷芦草沟组吉 32 井有机显微组分

Fig. 3 Microscope characteristic of organic macerals of well Ji32 in Lucaogou Formation, Jimusar sag

4 有机显微组分的赋存状态

吉木萨尔凹陷芦草沟组有机显微组分类型、含量在纵向上具有显著的非均质性,有机质组分的分布特征与岩性组分、结构、构造具有明显的对应关系^[22]。依据有机质组分的荧光光性、含量、形态等特征,将研究区碳酸盐岩烃源岩有机质赋存状态分为层状富集型、似层状富集型、顺层富集型、局部富集型和零星分散型(图 4)。

4.1 层状富集型

主要分布在含方解石脉暗色含凝灰泥晶白云岩及暗色含凝灰泥晶白云岩中,发育水平纹层,在方解石脉体发育层段由于挤压作用纹层呈流纹状。可见少量长英质碎屑颗粒,粒级细小,粒径为 10 ~ 60 μm 。有机质组分主要为降解藻类体、无定形有机组分,富集成藻纹层,呈平行或基本平行层理分布,发亮黄-橙黄色荧光(图 4(a))。

4.2 似层状富集型

主要分布在含凝灰白云岩中,长英质碎屑颗粒零星分布,粒径较小,粒径主要为 20 ~ 80 μm 。有机质组分以藻类降解产物为主,可形成藻纹层,多平行或顺纹层分布,藻纹层整体具有连续性,延伸较长,

呈条带、密集分布,局部呈稀疏状。似层状富集型发育段颗粒细小,局部发育少量较大颗粒,小颗粒发育段有机质组分发育,大颗粒局部集中段有机质组分含量降低,呈稀疏状分布(图 4(b))。

4.3 顺层富集型

主要分布在凝灰质白云岩中,长英质碎屑颗粒含量增大,粒径集中在 30 ~ 60 μm ,粒径大于 70 μm 所占比例增大,出现粒径大于 100 μm 的颗粒。颗粒略具成层性,不同粒径颗粒互层分布。有机质组分主要分布粒径相对较细的层段,荧光颗粒体短小,具有定向排列,呈顺纹层富集状分布(图 4(c))。

4.4 局部富集型

可细分为局部顺层富集和局部团块富集两种类型。多分布在云质凝灰岩中,长英质碎屑颗粒富集成层,粒径普遍大于 20 μm ,主要介于 40 ~ 80 μm ,其中粒径大于 70 μm 的颗粒所占比例进一步增大,与暗色凝灰质白云岩互层。层状碎屑颗粒粒级较大,有机质组分呈分散状分布于碎屑颗粒层,富集程度、形态变化大。局部顺层富集型有机质组分局部富集,颗粒体短小,具有与纹层平行的定向排列。局部团块富集型有机质短小,杂乱分布,富集呈团状或块状。两种类型均分布在具有互层构造特征的细

粒层段中(图 4(d)、(e))。

4.5 零星分散型

主要分布在含云凝灰岩中,碎屑颗粒混杂呈块状,粒径主要介于为 50 ~ 90 μm,大于 100 μm 颗粒出现峰值。有机组分含量较少,在荧光显微镜下观察,有机质颗粒短小,呈零星分布状态(图 4(f))。

图 4 中:(a)吉 32 井,3 731. 50 m,层状富集型;(b)吉 32 井,3 728. 60 m,似层状富集型;(c)吉 32 井,3 728. 30 m,顺层富集型;(d)吉 32 井,3 730. 50 m,局部顺层富集型;(e)吉 32 井,3 729. 60 m,局部团块富集型;(f)吉 32 井,3 729. 90 m,零星分散型;(a)放大 100 倍,(b) ~ (f)放大 200 倍。

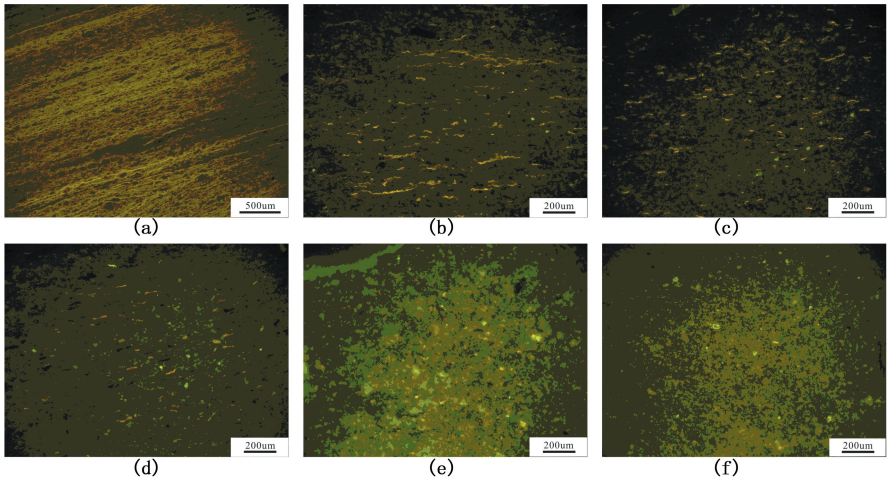


图 4 吉木萨尔凹陷芦草沟组有机显微组分赋存状态

Fig. 4 Occurrences of organic macerals in Lucaogou Formation, Jimusar sag

5 有机显微组分与成烃的关系

烃源岩腐泥组和壳质组均是有利于生烃的富氢组分,其含量越高,生油能力亦越强^[23-24]。吉木萨尔凹陷芦草沟组下甜点段烃源岩中富氢有机组分类型及含量存在明显非均质性,有机组分呈层状、似层状、顺层富集型的烃源岩中腐泥组无结构藻类体和无定形体占绝对优势,主要来源于降解的藻类体,多以藻纹层形式存在,壳质组以壳屑体为主,含量低。有机碳含量均大于 2. 7% ,最高可达 16. 4% ,烃源岩

岩石热解参数结果表明生烃潜量(S_1+S_2)普遍大于 14. 0 mg/g,生烃潜量最高可达 125. 6 mg/g,生烃有机组分富集程度与烃源岩有机质丰度和生烃能力存在正相关关系(图 5)。有机组分呈局部富集型和零星分散型的烃源岩有机碳含量介于 2. 1% ~ 2. 8% ,有机显微组分以镜质组、惰质组为主,生烃能力远低于腐泥组和壳质组。由此可知,吉木萨尔凹陷芦草沟组下甜点段腐泥组是主要的生烃有机质,富集程度和分布范围影响着致密油气的规模及分布范围。

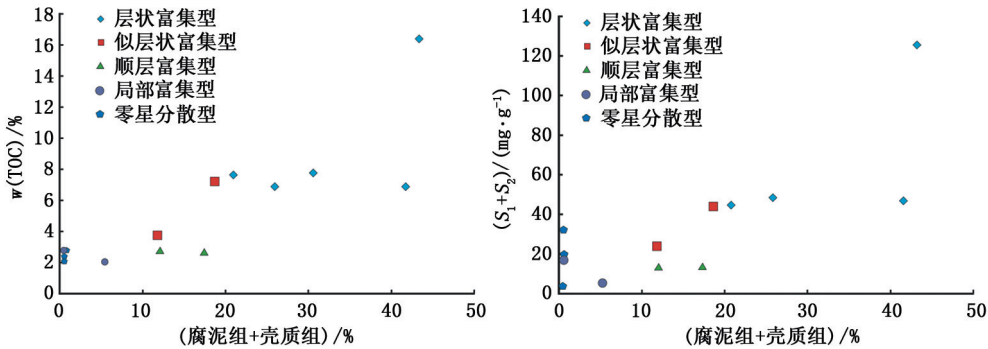


图 5 腐泥组+壳质组含量与有机碳(TOC)和生烃潜力(S_1+S_2)的关系

Fig. 5 Relationship between content of sapropelinite plus exinite and TOC, S_1+S_2

6 结 论

(1)吉木萨尔凹陷芦草沟组烃源岩有机质的赋

存形式分为有形态有机质、无形态有机质和次生有机质 3 类,有机显微组分细分为 5 组 12 组分,以腐泥组和次生组为主。

(2) 吉木萨尔凹陷芦草沟组岩性厚度较薄, 频繁互层, 岩性及构造特征能够反应出湖水深度的频繁变化。依据有机显微组分类型、富集程度可分为5种赋存状态, 有机组分赋存状态与岩性、结构、构造特征具有明显的对应关系, 表明有机显微组分受沉积环境、有机质类型和保存条件等因素控制。

(3) 吉木萨尔凹陷芦草沟组有机组分呈层状富集型、似层状富集型、顺层富集型时, 富含腐泥组无结构藻类体和无定形体等, 烃源岩具有强生烃能力。有机组分呈局部富集型和零星分散型时, 有机组分以惰质组、镜质组为主, 生烃能力较差, 吉木萨尔凹陷芦草沟组下甜点段烃源岩有机组分类型、含量及分布影响着致密油藏的分布。

参考文献:

- [1] 贾承造, 邹才能, 李建忠, 等. 中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景[J]. 石油学报, 2012, 33(3): 343-350.
JIA Chengzao, ZOU Caineng, LI Jianzhong, et al. Assessment criteria, main types, basic features and resource prospects of the tight oil in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(3): 343-350.
- [2] 邹才能, 朱如凯, 白斌, 等. 致密油与页岩油内涵、特征、潜力及挑战[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2015, 34(1): 3-17.
ZOU Caineng, ZHU Rukai, BAI Bin, et al. Significance, geologic characteristics, resource potential and future challenges of tight oil and shale oil[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2015, 34(1): 3-17.
- [3] 邹才能, 朱如凯, 吴松涛, 等. 常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望: 以中国致密油和致密气为例[J]. 石油学报, 2012, 33(2): 173-187.
ZOU Caineng, ZHU Rukai, WU Songtao, et al. Types, characteristics, genesis and prospects of conventional and unconventional hydrocarbon accumulations: taking tight oil and tight gas in China as an instance[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(2): 173-187.
- [4] 张斌, 胡健, 杨家静, 等. 烃源岩对致密油分布的控制作用: 以四川盆地大安寨为例[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2015, 34(1): 45-54.
ZHANG Bin, HU Jian, YANG Jiajing, et al. Controlling effect of source rocks on the occurrence of tight oil-taking the Da'anzhai reservoir of Sichuan Basin as an example[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2015, 34(1): 45-54.
- [5] 向宝力, 廖建德, 周妮, 等. 吉木萨尔凹陷吉174井二叠系芦草沟组烃源岩地球化学特征[J]. 科学技术与工
程, 2013, 13(32): 9636-9640.
XIANG Baoli, LIAO Jiande, ZHOU Ni, et al. Organic geochemical features of Permian source rock from Lucaogou Formation in Ji174 well of Jimsar Depression[J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(32): 9636-9640.
- [6] 王成云, 匡立春, 高岗, 等. 吉木萨尔凹陷芦草沟组泥质岩类生烃潜力差异性分析[J]. 沉积学报, 2014, 32(2): 385-390.
WANG Chengyun, KUANG Lichun, GAO Gang, et al. Difference in hydrocarbon generation potential of the shaly Source rocks in Jimusar sag, Permian Lucaogou Formation[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(2): 385-390.
- [7] 匡立春, 高岗, 向宝力, 等. 吉木萨尔凹陷芦草沟组有效源岩有机碳含量下限分析[J]. 石油实验地质, 2014, 36(2): 224-239.
KUANG Lichun, GAO Gang, XIANG Baoli, et al. Lowest limit of organic carbon content in effective source rocks from Lucaogou Formation in Jimusar sag[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(2): 224-239.
- [8] 程克明, 王铁冠, 钟宁宁, 等. 烃源岩地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1995, 17-40.
- [9] 肖贤明. 塔里木盆地三叠系烃源岩有机岩石学特征与生烃评价[J]. 地球化学, 1997, 26(1): 64-71.
XIAO Xianming. The organic petrological characteristics of triassic source rocks and their hydrocarbon generating potential in Tarim Basin[J]. Geochimica, 1997, 26(1): 64-71.
- [10] 秦建中, 付小东, 申宝剑, 等. 四川盆地上二叠统海相优质页岩超显微有机岩石学特征研究[J]. 石油实验地质, 2010, 32(2): 164-170.
QIN Jianzhong, FU Xiaodong, SHEN Baojian, et al. Characteristics of ultramicroscopic organic lithology of excellent marine shale in the upper Permian sequence, Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(2): 164-170.
- [11] 王娟, 李贤庆, 王广利, 等. 黔东南麻江-凯里地区烃源岩的有机岩石学特征[J]. 石油实验地质, 2012, 34(2): 167-172.
WANG Juan, LI Xianqing, WANG Guangli, et al. Organic petrologic characteristics of hydrocarbon source rocks in Majiang-Kaili area, southeastern Guizhou[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 167-172.
- [12] 匡立春, 唐勇, 雷德文, 等. 准噶尔盆地二叠系咸化湖相云质岩致密油形成条件与勘探潜力[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(6): 657-667.
KUANG Lichun, TANG Yong, LEI Dewen, et al. For-

- mation conditions and exploration potential of tight oil in the Permian saline lacustrine dolomitic rock, Junggar Basin, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(6):657-667.
- [13] 邵雨, 杨勇强, 万敏, 等. 吉木萨尔凹陷二叠系芦草沟组沉积特征及沉积相演化[J]. *新疆石油地质*, 2015, 36(6):635-641.
- SHAO Yu, YANG Yongqiang, WAN Min, et al. Sedimentary characteristic and facies evolution of Permian Lucaogou Formation in Jimsar sag, Junggar Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2015, 36(6):635-641.
- [14] 匡立春, 胡文瑄, 王绪龙, 等. 吉木萨尔凹陷芦草沟组致密油储层初步研究: 岩性与孔隙特征分析[J]. *高校地质学报*, 2013, 19(3):529-535.
- KUANG Lichun, HU Wenxuan, WANG Xulong, et al. Research of the tight oil reservoir in the Lucaogou Formation in Jimusar sag: analysis of lithology and porosity characteristics[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2013, 19(3):529-535.
- [15] 蒋宜勤, 柳益群, 杨召, 等. 准噶尔盆地吉木萨尔凹陷凝灰岩型致密油特征与成因[J]. *石油勘探与开发*, 2015, 42(6):1-9.
- JIANG Yiqin, LIU Yiqun, YANG Zhao, et al. Characteristics and origin of tuff-type tight oil in Jimusar Depression, Junggar Basin, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2015, 42(6):1-9.
- [16] 惠克来, 操应长, 朱如凯, 等. 吉木萨尔凹陷二叠系芦草沟组致密油储层岩石类型及特征[J]. *石油学报*, 2015, 36(12):1495-1507.
- XI Kelai, CAO Yingchang, ZHU Rukai, et al. Rock types and characteristic of tight oil reservoir in Permian Lucaogou Formation, Jimsar sag[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 36(12):1495-1507.
- [17] MUKHOPADHYAY P K, HAGEMANN H W, GORMLY J R. Characterization of kerogens as seen under the aspect of maturation and hydrocarbon generation[J]. *Erdol Kohle*, 1985, 38:7-18.
- [18] PICHEVIN L, BERTRAND P, BOUSSAFIR M, et al. Organic matter accumulation and preservation controls in a deep sea modern environment: an example from Namibian slope sediments[J]. *Organic Geochemistry*, 2004, 35(5):543-559.
- [19] 涂建琪, 陈建平, 张大江, 等. 湖相碳酸盐岩烃源岩有机显微组分分类及其岩石学特征: 以酒西盆地为例[J]. *岩石学报*, 2012, 28(3):917-926.
- TU Jianqi, CHEN Jianping, ZHANG Dajiang, et al. A petrographic classification of macerals in lacustrine carbonate source rocks and their organic petrological characteristics: a case study on Jiuxi Basin, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(3):917-926.
- [20] 吴朝东, 陈其英, 雷家锦. 湘西震旦-寒武纪黑色岩系的有机岩石学特征及其形成条件[J]. *岩石学报*, 1999, 15(3):453-462.
- WU Chaodong, CHEN Qiying, LEI Jiajin. The genesis factors and organic petrology of black shale series from the upper Sinian to the lower Cambrian, southwest of China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15(3):453-462.
- [21] 樊馥, 蔡进功, 宋明水, 等. 泥质烃源岩密度分组及有机质赋存类型初探[J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2011, 39(9):1359-1365.
- FAN Fu, CAI Jingong, SONG Mingshui, et al. An exploratory study on density fractionation and organic matter preservation of muddy source rock[J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2011, 39(9):1359-1365.
- [22] 苗建宇, 祝总祺, 刘文荣, 等. 泥质岩有机质的赋存状态及其对泥质岩封盖能力的影响[J]. *沉积学报*, 1999, 17(3):478-481.
- MIAO Jianyu, ZHU Zongqi, LIU Wenrong, et al. Occurrence of organic matter and its effect on sealing ability of argillaceous rock[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(3):478-481.
- [23] 焦贵浩, 秦建中, 王静, 等. 柴达木盆地北缘侏罗系烃源岩有机岩石学特征[J]. *石油实验地质*, 2005, 27(3):250-255.
- JIAO Guihao, QIN Jianzhong, WANG Jing, et al. Organic petrology characters of Jurassic source rocks in the northern margin of Qindam Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2005, 27(3):250-255.
- [24] 曾庆辉, 钱玲, 刘德汉, 等. 富有机质的黑色页岩和油页岩的有机岩石学特征与生排烃意义[J]. *沉积学报*, 2006, 24(1):113-122.
- ZENG Qinghui, QIAN Ling, LIU Dehan, et al. Organic petrological study on hydrocarbon generation and expulsion from organic-rich black shale and oil shale[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(1):113-122.

(编辑 刘为清)