

柴达木盆地北缘侏罗系烃源岩沉积 有机相划分及评价

彭立才¹, 杨慧珠¹, 刘兰桂², 吕宗伦², 保吉成²

(1. 清华大学工程力学系, 北京 100084;

2. 中国石油天然气股份公司青海油田分公司, 甘肃敦煌 736202)

摘要:根据柴达木盆地北缘侏罗系烃源岩的有机岩石学、沉积学和有机地球化学特征将烃源岩的沉积有机相划分为4种类型,即高位泥炭沼泽有机相、森林泥炭沼泽有机相、滨浅湖有机相和半深湖-较深湖有机相。在4种沉积有机相类型中,半深湖-较深湖有机相腐泥组含量最高,有机质类型属 I_2 或 I_1 型,生烃性最好并以生油为主;滨浅湖有机相是煤系烃源岩的主体部分,腐泥组含量较低,有机质类型以 II 型和 III_1 型为主,生烃性变化较大,泥岩生烃性中等到差,碳质泥岩大部分生烃性较差;森林泥炭沼泽有机相镜质组含量较高,有机质类型主要为 III_1 型,其生烃性相对较差,以生气为主;高位泥炭沼泽有机相惰质组含量高,有机质类型主要为 III_2 型,其生烃能力最差,以生气为主。

关键词:侏罗系;烃源岩;沉积有机相;评价

第一作者简介:彭立才,男,32岁,博士后,煤田、油气地质与勘探

中图分类号:P512.2

文献标识码:A

“有机相(organic facies)”概念最初由 Rogers 明确提出,他认为有机相类似沉积相,是从成因上认识烃源岩特征与展布的途径^[1]。Jones^[2]则认为有机相的概念来源于煤相,提出“有机相是一个给定地层单位的可制图亚单位,其在有机成分基础上区别于相邻的亚单位,不考虑沉积岩的无机面貌”。该定义不仅强调了岩石自身的有机组成,而且突出了沉积岩体在横向和纵向的变化和联系,将沉积岩中的有机成分及展布特征揉合在一起,它反映的是各种地质体的有机质富氢程度和生源特征。

自20世纪80年代以来,有机相正愈来愈多地被用作盆地及其亚单元油气勘探和资源评价的工具^[3-7]。由于有机相划分的目的是为了了解某一烃源岩沉积地质体的油气生成条件及其在盆地充填序列中的位置和空间上的展布特征^[8-12],因而只有综合研究烃源岩的有机岩石学、有机地球化学和沉积学特征才能达到这一目的。

柴达木盆地侏罗系烃源岩为沼泽相和湖泊相成因,从沉积环境来看,主要烃源岩层段形成的沉积环境类型有沼泽、滨湖、浅湖、较深湖,从有机质类型和来源看,以陆源高等植物碎屑为主,在某些

层段由于水体加深而成为较深水湖泊,藻类体有所增加。

1 划分依据

柴达木盆地北缘(简称柴北缘)侏罗系烃源岩沉积有机相的划分主要基于烃源岩的有机岩石学特征、沉积环境和有机地球化学特征等几个方面的认识。

1.1 有机岩石学

对烃源岩有机岩石学特征的认识主要运用了以下参数:宏观煤岩或有机岩类型、显微有机岩类型、镜质组与惰质组含量 $V+I$ 、壳质组含量 E 、腐泥组含量 S 、组分特征、植物类型。

1.2 沉积学

主要从沉积相、水动力和氧化还原性3个方面来认识。对于煤相的划分还应用了凝胶化指数 GI 、森林指数 WI 、植物保存指数 TPI 、流动指数 MI 和 V/I 。各指数的意义分别为: $GI=(\text{镜质体}+\text{粗粒体})/(\text{丝质体}+\text{半丝质体}+\text{惰屑体})$; $WI=\text{组织镜质体}/\text{碎屑镜质体}$; $TPI=(\text{结构镜质体}+\text{均质镜质体}+\text{丝质体}+\text{半丝质体})/(\text{基质镜质体}+\text{粗粒体}+\text{惰屑体})$; $MI=(\text{镜屑体}+\text{半镜屑体}+\text{惰屑体}+\text{稳定组分})/(\text{基质镜质体}+\text{均质镜质体})$ 。 GI 是凝胶化组分与非凝胶化组分的比值,反映古泥炭沼泽



的水位。 WI 反映沼泽的森林情况, $WI > 0.5$ 为森林沼泽。 TPI 反映植物遗体微生物降解、凝胶化作用和自然破碎的程度,同时也反映 pH 值。 MI 反映水体的流动情况。 V/I 是泥炭受氧化程度参数,一般 $V/I < 1$ 成煤泥炭曾暴露于氧化环境。

1.3 有机地球化学

运用于沉积有机相划分的有机地球化学参数包括有机碳、生烃潜量(每克岩石的生烃量,单位 mg ,下同)、 HI (每克有机碳的生烃量,单位 mg ,下

同)、氯仿沥青“A”、总烃等。

沉积有机相的划相指标和类型的划分以直观、简洁、便于生产实际操作为原则,兼顾理论和生产上的实用性。

2 有机相划分

综合柴达木盆地北缘侏罗系烃源岩的有机岩石学特征、沉积环境和有机地球化学特征,其沉积有机相可划分为以下4种类型(表1)。

表1 柴达木盆地北缘侏罗系沉积有机相划分

Table 1 Classification of Jurassic organic facies in north margin of Chaidamu Basin

划相指标	有机相类型			
	高位泥炭沼泽有机相	森林泥炭沼泽有机相	滨浅湖有机相	半深湖-较深湖有机相
有机岩石学特征	宏观煤岩或有机岩类型	丝炭、暗煤	镜煤、亮煤	灰黑色泥岩或黑色碳质泥岩
	显微有机岩类型	微丝煤	微镜煤、微亮煤	微泥岩
	镜质组与惰质组含量 $V+I/\%$	>90	$70 \sim 90$	$5 \sim 10$
	壳质组含量 $E/\%$	$0 \sim 5$	$5 \sim 25$	<2.5
	腐泥组含量 $S/\%$			$1 \sim 2.0$
沉积环境	组分特征	惰质组为主	镜质组为主	镜质组+壳质组+少量藻类体+矿物沥青基质
	植物组合	松柏类高大乔木	蕨类、种子蕨	混合型
	镜质比 V/I	<1	>1	
	凝胶化指数 GI	$1 \sim 2$	$2 \sim 50$	
	植物保存指数 TPI	<1	$0.6 \sim 2.5$	
有机地化特征	流动指数 MI	<0.4	<0.4	
	沉积相	山麓冲积沼泽	冲积-湖泊沼泽	滨浅湖
	水动力	潜水面以上	潜水面以下	中等
	氧化还原性	氧化	弱氧化-还原	还原-弱还原
	有机碳 $\%$	>40	>40	$0.75 \sim 3.0$ (泥岩), $6 \sim 40$ (碳质泥岩)
有机地化特征	生烃潜量/ mg	<50	$50 \sim 200$	$0.5 \sim 6.0$ (泥岩), $18 \sim 120$ 为主或 >120 (碳质泥岩)
	HI/mg	<125	$125 \sim 250$	$90 \sim 200$ (泥岩), $110 \sim 700$ 为主或 >700 (碳质泥岩)
	氯仿沥青“A” $\%$	<0.75	$0.75 \sim 2$	$0.015 \sim 0.06$ (泥岩), $0.2 \sim 0.9$ 为主或 >0.9 (碳质泥岩)
	总烃 $\%$	0.2	$0.2 \sim 0.6$	$0.005 \sim 0.03$ (泥岩), $0.06 \sim 0.25$ 为主或 0.25 (碳质泥岩)
	生油岩级别	非	差	中、差,少数较好
有机地化特征	有机质类型	Ⅲ ₂	Ⅲ ₁	Ⅱ, Ⅲ ₁ 为主,少Ⅱ ₂
	生烃性	可生气	生气为主,少量油	生油为主
				较好生油岩

2.1 高位泥炭沼泽有机相

该相以富含镜质组、惰质组和贫壳质组为特征。 $V+I > 90\%$, $E < 5\%$ 。植物类型以高等植物为主。在柴达木盆地北缘,此种沉积有机相主要出现在东段红山断陷大煤沟剖面中侏罗统的部分煤层;西段冷湖地区下侏罗统小煤沟组(J_{1x})的绝大部分煤层也在该沉积有机相范畴(图1);另外新高泉煤矿中侏罗统部分煤层也在该沉积有机相范围之内。该相为山麓冲积环境,在潜水面以上。 $V/I < 1$, GI 在 $1 \sim 2$ 之间, $TPI < 1$, $MI < 0.4$ 。有机碳 $> 40\%$ 、生烃潜量($S_1 + S_2$) $< 50 mg$, $HI < 125 mg$, 氯

仿沥青“A” $< 0.75\%$ 、总烃 $< 0.2\%$ 。该沉积有机相有机质类型一般为Ⅲ₂型,除可生成少量气外,几乎无生油能力。

2.2 森林泥炭沼泽有机相

森林泥炭沼泽有机相是柴达木盆地北缘侏罗系重要的有机相类型,也是研究区分布较广的一类沉积有机相,东段、西段(图2)均有分布。柴达木盆地北缘侏罗系的煤绝大多数是在这种环境下形成的。煤层中以镜质体含量高为特征,主要为基质镜质体或均质镜质体,一般含量在 $30\% \sim 50\%$ 。壳质组也有相当的含量,部分在 5% 以上,以角质体或孢子

体为主。惰质组含量低于镜质组。该类沉积有机相发育于冲积-湖泊沼泽环境、潜水面以下,沼泽经常性处于覆水阶段,形成的环境多为弱氧化-还原环境,加上气候温暖湿润,有利于植物的生长和发育,往往形成较厚煤层。其环境参数 $V/I > 1$, GI 在 2~50 之间, TPI 值在 2~6 的范围内, $MI < 0.4$, 如 J_2^5 煤层的 $V/I > 1$, $GI = 4.417$, $TPI = 0.639$, $MI = 0.21$, $WI = 0.536$ 。森林泥炭沼泽有机相的地球化学参数有机碳 $> 40\%$, $S_1 + S_2$ 在 50~200 mg 的范围内, HI 在 125~250 mg 之间, 氯仿沥青“A”在 0.75%~2% 范围内, 总烃在 0.2%~0.6% 之间。该沉积有机相有机质类型一般为 III_1 型, 以生气为主, 可生成少量油。

2.3 滨浅湖有机相

滨浅湖有机相是柴达木盆地北缘侏罗系最重要的有机相类型, 也是分布最广的一类沉积有机相类型。西段的分布情况如图 1 和图 2。

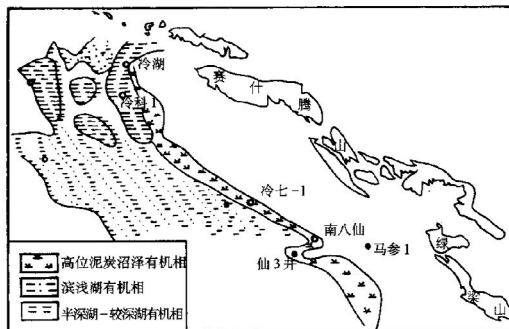


图1 柴达木盆地北缘西段下侏罗统沉积有机相分布图

Fig.1 Distribution of Lower Jurassic organic facies in west section of north margin, Chaidamu Basin

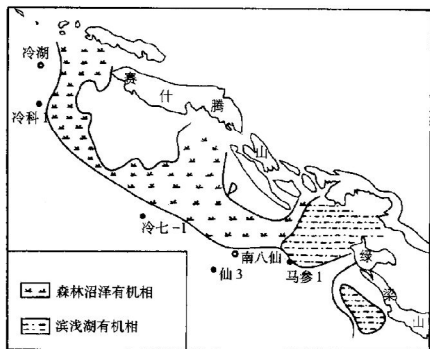


图2 柴达木盆地北缘西段中侏罗统沉积有机相平面分布图

Fig.2 Distribution of Middle Jurassic organic facies in west section of north margin, Chaidamu Basin

该相岩性主要为灰黑色泥岩或黑色碳质泥岩, 组分包括镜质组、惰质组、壳质组和少量的藻类体, 矿物沥青基质含量变化较大。一般情况下, $V+I$ 含量在 5%~10%, E 含量 $< 2.5\%$, 而腐泥组含量在 1.0%~2.0% 之间。一般为还原-弱还原环境, 水动力为中-弱。在滨浅湖环境中, 泥岩和碳质泥岩的有机地球化学特征相差较大, 生烃性能差别也很大, 从非烃源岩到较好的烃源岩均有分布, 绝大部分为中等到差。一般情况下, 泥岩和碳质泥岩的有机碳含量分别为 0.75%~3.0% 和 4.0%~41.0%; 泥岩和碳质泥岩的生烃潜量分别为 0.5~6.0 mg 或少数低于 0.5 mg 和 18~120 mg 或少数大于 120 mg; 泥岩和碳质泥岩的氢指数分别为 90~200 mg 或少数低于 90 mg 和 110~700 mg 或少数大于 700 mg; 氯仿沥青“A”泥岩和碳质泥岩的含量分别为 0.015%~0.06% 或少数低于 0.015% 和 0.2%~0.9% 或少数大于 0.9%; 总烃泥岩为 0.005%~0.03%, 少数低于 0.005%, 碳质泥岩为 0.06%~0.25%, 少数大于 0.25%。有机质类型以 III_1 型、II 型为主, 少量达到 I_2 型, 类似于 Jones^[2] 的 BC 和 C 有机相。

2.4 半深湖-较深湖有机相

该沉积有机相在柴达木盆地北缘侏罗系中有一定的分布, 面积不大, 西段分布情况如图 1, 对柴北缘油气藏的形成具有重要意义。煤系浅湖相沉积体系, 由于水体的加深, 而形成类似于一般湖相的烃源岩。如 J_2^7, J_2^5 较深湖相的泥岩和油页岩(主要分布在东段大煤沟地区)以及西段 J_1 较深湖相泥岩。半深湖-较深湖有机相烃源岩一般为黑色泥岩, 生源属混合型, 既有高等植物, 又有低等水生生物。镜质组和惰质组含量较低, 一般 $< 10\%$, 壳质组有一定含量, 一般 $< 5\%$, 藻类体含量明显增加, 一般 $> 2.0\%$, 同时矿物沥青基质也明显增加, 但含量变化较大。该相水动力较弱, 一般为还原-强还原环境。有机碳含量一般为 3.0%~6.0%, 生烃潜量值多数在 6.0~20.0 mg 之间, 少数大于 20.0 mg, 氢指数一般 > 200 mg, 氯仿沥青“A”含量一般为 0.06%~0.12%, 少数 $> 0.12\%$, 总烃含量一般为 0.03%~0.07% 或少部分 $> 0.07\%$ 。半深湖-较深湖有机相具有良好的生烃性质, 其有机质类型为 I_2 型, 甚至达到 I_1 型, 类似于 Jones^[2] 的 B 和 AB 有机相。

3 认识

柴达木盆地北缘侏罗系烃源岩的沉积有机相可划分为4种类型,在4种沉积有机相类型中,以半深湖-较深湖有机相生烃性最好,但分布较为局限。滨浅湖有机相是最重要的有机相类型,也是柴达木盆地北缘侏罗系分布最广的一类沉积有机相,实际上它也是煤系烃源岩的主体部分,其生烃性变化较大,泥岩生烃性中等到差,碳质泥岩大部分生烃性较差。森林泥炭沼泽有机相也是柴达木盆地侏罗系分布较广的一个沉积有机相类型,但其生烃性相对较差,以生气为主,作为油气源岩来说,其贡献不如前两种类型。高位泥炭沼泽有机相生烃能力较差,以生气为主。

参 考 文 献

- 1 金奎勋,王宜林.新疆准噶尔侏罗系煤成油[M].北京:石油工业出版社,1997.109~123
- 2 Jones R W. Organic facies [A]. In: Welte D H, ed. Advances in petroleum geochemistry [C]. Great Britain: Pergamon Journals Ltd, 1987. 1~89
- 3 李华东, E荣福, 吴心一, 等. 有机相在油气源岩与油气评价中的作用——以下扬子区二叠系为例[J]. 石油实验地质, 1993, 15(2): 201~212
- 4 姚素平, 金奎勋, 毛鹤龄, 等. 准噶尔盆地侏罗系西山窑组沉积有机相研究及烃源岩评价[J]. 中国矿业大学学报, 1997, 26(1): 26~32
- 5 Mann U, Stein R. Organic facies variation, source rock potential, and sea level changes in cretaceous black shales of the Quebrada Ocal, upper Magdalena valley, Colombia[J]. AAPG Bull, 1997, 81(4): 556~576
- 6 Tyson R V. Sedimentary organic matter: organic facies and palynofacies [M]. London: Chapman & Hall, 1995. 615
- 7 Özcelik O, Altunsoy M. Clastic petrofacies, provenance and organic facies of the Bezel formatoin (Lutetian) in the Eastern Sivas Basin (Turkey)[J]. Marine and Petroleum Geology, 1996, 13(5): 493~501
- 8 郝芳, 陈建渝. 层序和体系域的有机相构成及其研究意义[J]. 地质科技情报, 1995, 14(3): 79~83
- 9 郝芳, 陈建渝, 孙永传, 等. 有机相研究及其在盆地分析中的应用[J]. 沉积学报, 1994, 12(4): 77~85
- 10 Tyson R V. Sequence-stratigraphic interpretation of organic facies variation in marine siliciclastic system: general principles and application to the onshore kimmeridge clay formation, Uk [A]. In: Hesselbo S P, Parkinson D N, ed. Sequence Stratigraphy in British Geology [C]. London: Geo. Soc. Lond. Spec. Publ, 1996, 108: 75~96
- 11 Petersen H I, Andsbjerg J. Organic facies development within Middle Jurassic coal seams, Danish Central Graben, and evidence for relative sea-level control on peat accumulation in a coastal plain environment [J]. Sedimentary Geology, 1996, 106: 259~277
- 12 Tuweni A O, Tyson R V. Organic facies variation in the Westbury Formation [J]. Org Geochem, 1994, 21(10): 1 001~1 014

CLASSIFICATION AND ESTIMATION OF ORGANIC FACIES IN JURASSIC SOURCE ROCKS FROM NORTH MARGIN, CHAIDAMU BASIN

Peng Licai¹ Yang Huizhu¹ Liu Langui²

Li Zonglun² Bao Jicheng²

(1. Department of Engineering Mechanics, Qinghua University, Beijing;

2. Qinghai Oilfield Company, CNPC, Dunhuang, Gansu)

Abstract: The Jurassic hydrocarbon source rocks on the north margin of Qaidam Basin could be divided into highstand marsh peat organic facies, forest marsh peat organic facies, shore-shallow lake organic facies and semideep-deep lake organic facies. The first facies contains high inertinite contents, its organic matter is mainly III₂-type, its hydrocarbon-generation capacity is the lowest and gas is the main product; the second facies contains high vitrinite and III₁-type organic matter. Its hydrocarbon generation capacity is relatively low with gas is the main product; the third facies is primarily coal measures with lower sapropelinite. Its organic matter is mainly II- and III₁-types with lower to poor hydrocarbon generation capacity; the last facies has the highest sapropelinite, the organic matter is I₂- or I₁ types with the best oil generation capacity

Key words: Jurassic System; source rock; organic facies; estimation