

# 陆相烃源岩的沉积环境 及其对生烃潜力的影响 ——以准噶尔盆地侏罗系烃源岩为例

傅 恒 刘巧红 杨树生

(成都地质矿产研究所) (西北石油地质局)

**[内容提要]** 本文以准噶尔盆地侏罗系烃源岩为例,从沉积角度出发,结合有机地球化学分析,探讨陆相烃源岩的沉积环境及其对生烃潜力的影响。陆相烃源岩的沉积不仅控制了烃源岩的发育与展布,而且还由于其中原始生物丰度和种类不同而直接影响着烃源岩的有机质丰度和类型。在陆相河流—三角洲—湖泊沉积环境中,半深—深湖及前三角洲中的暗色泥岩最具生烃潜力,这类暗色泥岩发育的原生有机物主要为水生低等生物和较少的高等植物,水介质条件以还原—强还原为主,所以其有机质丰度高,类型好(以Ⅰ、Ⅱ型为主)。三角洲平原及曲流河泛滥平原后湖泊中的暗色泥岩也具较好的生烃潜力,这类暗色泥岩的有机质母源主要来自高等植物,水介质条件为弱氧化—弱还原,因此其有机质丰度较高,但类型以Ⅲ型为主。

煤岩作为烃源岩,其生烃潜力取决于煤岩体积及富氢组分含量和演化程度。而煤岩体积和富氢组分含量又主要受控于成煤环境的古气候、古地理、成煤物质(古生物)及介质条件等。湖湾、滨湖沼泽煤最具生烃潜力,这类成煤环境不仅面积大、发育稳定,而且覆水程度高,底水介质条件多为还原—强还原,原生生物虽以高等植物为主,但发育较多的水生生物,因此其煤层不仅厚度大、分布连续,而且煤岩中的富氢组分较高。相比之下,三角洲平原、曲流河泛滥平原及网结河湿地沼泽煤的生烃潜力次之,辫状河泛滥平原沼泽煤的生烃潜力最差。

**关键词:** 陆相烃源岩 暗色泥岩 煤岩 生烃潜力

陆相烃源岩的沉积环境控制了烃源岩的展布与发育,是烃源岩有机质丰度和类型的函数,直接影响着烃源岩的生烃潜力。本文以准噶尔盆地侏罗系烃源岩为例,从沉积角度出发,结合有机地球化学分析,探讨陆相烃源岩的沉积环境及其对生烃潜力的影响。

准噶尔盆地为一向南缓倾的箕状陆相沉积盆地,其沉积、沉降中心在南缘,侏罗纪时,特别是早、中侏罗世,本区气候温暖潮湿,主要发育河流—三角洲—湖泊相沉积,烃源岩就发育在上述不同沉积背景的沉积环境中(参见表1)。岩性可分为三类:煤岩(有机碳60%±)、碳质泥岩(有机碳6%—25%)、暗色泥岩(有机碳>0.5%)。

煤和碳质泥岩主要发育在各类沼泽环境中,暗色泥岩则多发育在各类湖泊环境中。由于沉积环境不同,有机质赋存形式有较大差异,有机质丰度也明显不同,与有机质呈富集形式出现的煤(和碳质泥岩)相比,有机质呈分散形式出现的暗色泥岩单位体积的有机质丰度远小于煤。但由于区域上暗色泥岩的绝对体积远大于煤,故其有机质总量应大于煤。此外,暗

色泥岩一般还有比煤更有利于生烃的有机质类型,排烃机制也比煤更为理想,而一般煤中很大一部分有机质为不生油的显微组分(如木质素)。因此,暗色泥岩的生烃潜力应大于煤。

## 1 暗色泥岩的沉积环境及其生烃潜力分析

富含有机质的暗色泥岩为生物(特别是水生低等生物)发育的低能级环境中、还原条件下的沉积,主要为湖泊中的半深—深湖及三角洲中的前三角洲、前缘、三角洲平原分流河道间或曲流河泛滥平原上的岸后湖泊沉积。来自不同沉积环境的暗色泥岩,其有机地球化学特征及生烃潜力有一定差异。

半深—深湖在准噶尔盆地早、中侏罗世有较大面积的分布,暗色泥岩沉积稳定。这时由于水域宽广,气候温暖潮湿,湖岸上植被繁茂,湖水养分充足,水生低等生物(如藻类、细菌等微生物)十分发育。由于水深大,湖底水介质条件多为还原—强还原(这种条件有利于有机质的保存及其向有利于生烃的富氢组分演化)。湖底泥中的原生有机物主要为藻类、细菌等水生低等生物的遗体,也有经河流及湖流带来的高等植物残体。正是这些优质生物的丰度、种类及其后期的演化决定了这类暗色泥岩的生烃潜力。由于勘探条件等因素的限制,这类暗色泥岩的地化分析样品几乎没有,其地化特征,主要是有机质丰度和类型,只能据其沉积环境中的先质生物丰度、种类推测。

三角洲水下部分的前三角洲暗色泥岩的沉积及地化特征与半深—深湖暗色泥岩相似。三角洲平原及曲流河泛滥平原上的岸后湖泊与同期开放型的区域性湖泊相比分布局限、分割性强、水深变浅且沼化频繁、高等植物十分发育。从湖底表层到深层水介质条件由弱氧化—弱还原到还原甚至强还原(氧化不利于有机质的保存,但适当的氧化有利于高等植物组织的分解)。这类暗色泥岩的地化样品很多,分析表明其有机质丰度较高,类型以Ⅲ型为主,偶见Ⅰ型和Ⅱ型。

准噶尔盆地下、中侏罗统暗色泥岩厚度由河流—三角洲—湖泊相区逐渐增加,腹部—南缘以湖泊相区为主,暗色泥岩厚度最大,达700m以上;北部河流—三角洲相区内局部暗色泥岩的厚度较大,反映当时这些地区发育的岸后湖泊相对稳定,持续时间较长。

地化分析表明,准噶尔盆地下、中侏罗统暗色泥岩的有机质丰度较高,有机碳普遍大于0.5%。暗色泥岩的沉积环境从河流—三角洲—湖泊,有机碳含量逐渐增加,最高2.5%以上。此外,有机质大都进入生油门限(镜质体反射率 $>0.5\%$ ),南缘埋深加大演化程度增加,镜质体反射率最高超过2.0%<sup>①</sup>。

表1 准噶尔盆地侏罗系烃源岩沉积相及岩性

Table 1 Sedimentary facies and lithology of the Jurassic source rocks in the Junggar Basin, Xinjiang

相	亚相	微相	岩性	
河流	辫状河	泛滥平原	岸后湖泊 泥岩	
			沼泽 煤、碳质泥岩	
	网结河	湿地	岸后湖泊	泥岩
			沼泽	煤、碳质泥岩
	曲流河	泛滥平原	岸后湖泊	泥岩
			沼泽	煤、碳质泥岩
三角洲	三角洲平原	分流河道间	泥岩	
		沼泽	煤、碳质泥岩	
湖泊	前三角洲	前缘	泥岩	
	湖湾、滨湖	沼泽	煤、碳质泥岩	
	浅湖	泥坪	泥岩	
	半深—深湖	湖底	泥岩	

① 况军等,1994,准噶尔盆地及外围盆地油气资源评价(内部资料)

区域评价烃源岩生烃潜力的四大要素是烃源岩的体积及其有机质丰度、类型、成熟度。准噶尔盆地下、中侏罗统半深—深湖相暗色泥岩不仅体积大(平均厚约700m,面积约17000km<sup>2</sup>),而且有机质丰度高(有机碳>2.5%)、类型好(推测以Ⅰ、Ⅰ型为主)、成熟度在大部分分布区域内正好处于油窗范围内(镜质体反射率为0.8%—1.35%)。因此,这类暗色泥岩为侏罗系最具生油潜力的烃源岩。在演化程度较高的南缘(镜质体反射率1.35%—2.0%或>2.0%),这类暗色泥岩还具备良好的生气潜力。

三角洲平原或曲流河泛滥平原上的岸后湖泊相暗色泥岩虽体积较大(平均厚300m,面积约30000km<sup>2</sup>)、有机质丰度较高(有机碳为2.0%±),但有机质类型较差(以Ⅲ型为主)、成熟度普遍偏低(镜质体反射率0.5%—0.8%),生油潜力不如半深—深湖相暗色泥岩,但在南缘成熟度较高(镜质体反射率>2.0%),具较好的生气潜力。

## 2 成煤环境及煤的生烃潜力分析

煤形成于沼泽环境,但不同沉积相背景沼泽成因的煤无论是煤层的产状、厚度及分布,还是煤岩本身的显微组分均存在显著差异,正是这种差异决定了各类煤的生烃潜力明显不同。碳质泥岩与同生煤的沉积环境和显微组分都较相似,不同的是其含有更多的细碎屑成分,为湖泊—沼泽的过渡产物或湖泊沼泽化不彻底的产物,本文将其视为煤岩的一部分。

准噶尔盆地侏罗纪沼泽主要出现在温暖潮湿、植被繁茂的早侏罗世八道湾期和中侏罗世西山窑期。这些沼泽的沉积背景明显不同,从盆地边缘的河流相区—中央的湖泊相区,依次出现河流泛滥平原(或湿地)沼泽—三角洲平原沼泽—湖湾、滨湖沼泽。

辫状河泛滥平原沼泽分布局限且很不稳定,常由于河流改道而结束其短暂的发育史。这类沼泽主要发育高等植物,覆水程度低,底水介质条件为氧化或弱氧化—弱还原。煤相上相当于高位沼泽或陆成森林沼泽。剖面上,这类沼泽成因的煤多为粗碎屑岩(河道沉积)的夹层,层数少,厚度薄,分布不连续(表2,图1-A)。

网结河湿地、曲流河泛滥平原及三角洲平原上的沼泽明显不同于辫状河泛滥平原沼泽。这类沼泽多由岸后湖泊沼泽化形成,垂向上可与之组成多个湖泊—沼泽沉积旋回,面积较大,发育较稳定。沼泽中的生物以高等植物为主,但也有少量岸后湖泊发育时遗留下来的水生生物。随着覆水程度增加,底水介质条件从弱氧化、弱还原—还原。

煤相上相当于森林泥炭沼泽或森林沼泽—芦苇沼泽。剖面上,这类沼泽成因的煤多为河流上部旋回中细碎屑岩(岸后湖泊沉积)的夹层。煤层层数多(反映岸后湖泊的沼泽化频繁),厚度较大,分布

表2 准噶尔盆地侏罗系煤岩沉积环境、成煤环境划分表  
Table 2 Division of sedimentary environments and coal-forming environments of the Jurassic coal-measure rocks in the Junggar Basin, Xinjiang

沉积环境	辫状河泛滥平原沼泽	网结河湿地,曲流河泛滥平原及三角洲平原沼泽		湖湾、滨湖沼泽
成煤环境	高位沼泽 <sup>①</sup>	森林泥炭沼泽		流水泥炭沼泽
	陆成森林沼泽 <sup>②</sup>	森林沼泽	芦苇沼泽	开放沼泽
成煤物质	高等植物	高等植物	高等植物、水生生物	
覆水程度	低—————→高			
Eh	氧化—弱氧化、弱还原	弱氧化、弱还原—还原		还原—强还原
煤层厚度	薄—————→厚			
生烃潜力	差—————→好			

注:①据中国矿业大学(1994);②据赵师庆(1991)<sup>[1]</sup>

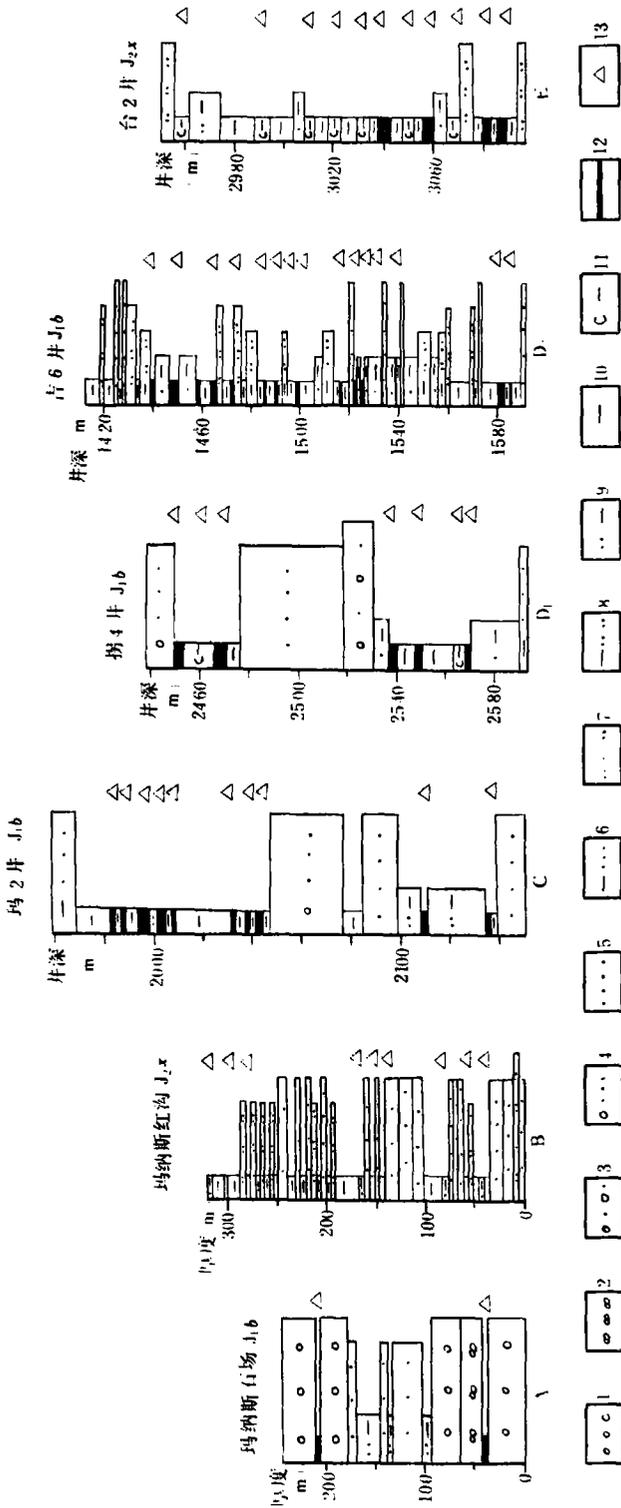


图 1 准噶尔盆地侏罗纪八道湾、西山窑期不同沉积背景的沼泽

A. 辫状河泛滥平原沼泽; B. 网状河湿地沼泽; C. 曲流河泛滥平原沼泽; D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>. 三角洲平原沼泽; E. 湖湾沼泽;

1. 砾岩; 2. 小砾岩; 3. 砂砾岩; 4. 含砾砂岩; 5. 砂岩; 6. 泥质砂岩; 7. 粉砂岩; 8. 泥质粉砂岩; 9. 粉砂质泥岩

10. 泥岩; 11. 碳质泥岩; 12. 煤; 13. 剖面上沼泽所在位置

Fig. 1 Swamps in distinctive sedimentary environments in the Junggar Basin, Xinjiang during the Badaowanian and Xishanyaoan stages (Jurassic)

A=flood plain swamp of braided rivers; B=wet swamp of anastomosing rivers; C=flood plain swamp of meandering rivers;

D<sub>1</sub> and D<sub>2</sub>=delta plain swamp; E=lake marsh

1=conglomerate; 2=sandy conglomerate; 3=sandy siltstone; 4=gravel-bearing sandstone; 5=sandstone; 6=muddy sandstone; 7=siltstone; 8=muddy siltstone; 9=silty mudstone; 10=mudstone; 11=carbonaceous mudstone; 12=coal; 13=positions of the swamps and marshes in the section

也较连续(表2,图1-B、C、D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>)。

湖湾(及滨湖)沼泽与上一类沼泽较为相似,但面积更大,发育更稳定。随着湖平面的升降,半封闭一半开放的湖湾时而为湖时而为沼,沼泽中的生物虽仍以高等植物为主,但发育更多的水生生物。覆水程度高,底水介质条件多为还原—强还原。煤相上相当于流水泥岩沼泽或芦苇沼泽—开放沼泽。剖面上,这类沼泽成因的煤多与湖泊暗色泥岩互层,煤层层数多,厚度大,分布连续(表2,图1-E)

煤岩区域性的生烃潜力取决于煤岩体积及其显微组分中富氢组分的含量和演化程度。

煤岩的富氢组分主要有壳质组(包括孢子体、角质体、树脂体、表皮体、木栓质体及碎屑壳质体等)、腐泥组(包括藻类体、沥青质体)、部分无定形体(腐泥无定形体、菌解腐植无定形体)及富氢镜质体(腐植基质、超微类脂体)<sup>[2]</sup>。

准噶尔盆地侏罗系煤岩的显微组分为:壳质组<10%,镜质组60%—90%,惰质组10%—14%<sup>[3]</sup>。其中检出的富氢组分主要有壳质组中的角质体、木栓质体,腐泥组分中的沥青质体及富氢镜质体中的基质镜质体(腐植基质)和超微类脂体<sup>①</sup>。

煤岩的体积及其富氢组分的含量主要受控于成煤环境,而成煤环境中的古气候、古地理、成煤物质及介质条件又是最重要的控制因素。特别是介质的还原性对煤岩富氢组分含量的影响很大,同样的成煤物质(如高等植物)由于环境介质条件不同其演化产物大不相同,还原性强的介质条件更有利于富氢组分的形成(图2)。不同的成煤物质其演化产物也有差别,同样条件下水生生物更有利于向富氢组分演化。

准噶尔盆地八道湾组的煤在西北缘及东西缘最为发育,最厚超过50m,成煤环境以三角洲平原及湖湾沼泽为主,也有河流沼泽。西山窑组的煤主要发育在南缘和东北缘,南缘最厚可达100m以上,成煤环境南缘主要为湖湾沼泽,东北缘为三角洲、河流沼泽,西北缘及北部主要为河流沼泽。

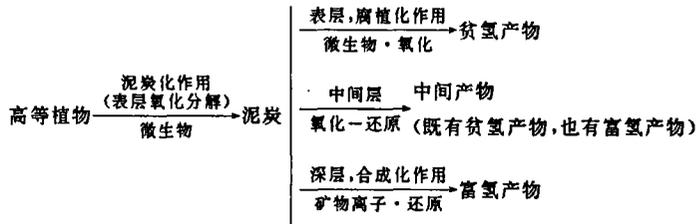


图2 介质条件(还原性)对煤岩组分的影响  
Fig. 2 Effects of the medium conditions (reducibility) on coal components

综上所述,湖湾(和滨湖)沼泽与其它各类沼泽相比不仅发育最稳定、覆水程度最高、还原性最强,而且成煤物质中有更多的水生生物,后期演化程度也较适当(镜质体反射率0.5%—0.8%)。因此,这类沼泽成因的煤的生烃潜力最大。相比之下,网结河湿地、曲流河泛滥平原及三角洲平原沼泽成因的煤的生烃潜力次之,辫状河泛滥平原沼泽成因的煤的生烃潜力最差。

### 参 考 文 献

1 赵师庆.实用煤岩学.北京:地质出版社,1991

①中国矿业大学北京研究生部,1994,准噶尔盆地侏罗纪烃源岩煤成油标志及沉积有机相研究。

- 2 王飞宇等. 煤和陆源有机质生油岩有机岩石学特征及评价. 新疆石油地质, 1994, Vol. 15 No. 1
- 3 王屿涛. 从澳大利亚煤成烃条件探讨准噶尔盆地煤成烃问题. 新疆石油地质, 1994, Vol. 15, No. 2

## SEDIMENTARY ENVIRONMENTS OF THE LIMNIC SOURCE ROCKS AND THEIR INFLUENCE ON HYDROCARBON-GENERATING POTENTIALITY: AN EXAMPLE FROM THE JURASSIC SOURCE ROCKS IN THE JUNGGAR BASIN, XINJIANG

Fu Heng Liu Qiaohong

*Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources*

Yang Shusheng

*Northwest China Bureau of Petroleum Geology*

### ABSTRACT

Sedimentary environments of the limnic source rocks have an important effect on the hydrocarbon-generating potentiality of the source rocks. Exemplified by the Jurassic rocks in the Junggar Basin, Xinjiang, in combination with sedimentary and organic geochemistry, the present paper discusses the sedimentary environments of the source rocks and their influence on the hydrocarbon-generating potentiality.

Sedimentary environments of the limnic source rocks not only control the development and distribution of the source rocks but also directly affect the abundance and type of the organisms because of the discrepancies in the abundance and type of the primitive organisms. In the continental-river-delta-lake environments, the dark mudstones in the semi-deep and deep lakes and prodeltas have the greatest hydrocarbon-generating potentiality. The primitive organisms in this kind of dark mudstones are mainly made up of aquatic lower organisms and minor higher plants. The aqueous medium conditions are dominantly composed of reduction to strong reduction conditions. The organisms are higher in abundance and good in type (Types I and II). The dark mudstones in the backshore lakes of delta plain and meandering flood plain occupy the second position of hydrocarbon-generating potentiality. The organisms in this kind of dark mudstones mostly come from higher plants. The aqueous medium conditions consist of weak oxidation and weak reduction. For this reason, the organisms are typical of higher abundances and Type III.

The hydrocarbon-generating potentiality of coal as a kind of the source rocks tends to depend on the volume of the coal-measure rocks, the contents of hydrogen-rich components and evolutionary degrees, the former two of which are, in turn, controlled by palaeocli-

mates, palaeogeography, coal-forming organisms (bionts) and aqueous medium. The coal in lake estuary and swamps have the greatest latent capacity. This kind of coal-forming environments not only are distributed extensively and developed steadily, but also covered by water on a wide range of scales. The aqueous medium conditions are dominated by reduction to strong reduction conditions. The primitive organisms are mainly made up of higher plants, with significant aquatic organisms. The coal beds are characterized by greater thickness, laterally extensive distribution and high hydrogen-rich components in coal. By comparison, the hydrocarbon-generating potentiality of the coal in delta plains, meandering flood plains and wet swamps of anastomosing rivers has the second position, and that of the coal in the braided flood plain and swamps is the worst.

**Key words:** limnic source rocks, dark mudstone, coal-measure rocks, hydrocarbon-generating potentiality