

吐哈盆地煤成烃主要贡献组分割析

赵长毅¹ 程克明¹ 王飞宇²

¹(石油勘探开发科学研究院,北京 100083) ²(石油大学,北京 100083)

摘要 吐哈盆地中下侏罗统煤显微组分组成显示了“碎、小、薄”和过渡组分含量高的特点。结合显微和超微层次有机岩石学分析,在显微组分层次生烃组分主要为基质镜质体,碎屑类脂体、薄壁角质体、木栓质体和小孢子体在煤成烃中也有一定的贡献;超微层次生烃组分主要表现为分布于基质镜质体中的超微类脂体。煤中基质镜质体的高含量弥补了其单位生烃潜力低的不足,基质镜质体富氢成因在于生物化学阶段细菌等微生物对其强烈降解改造作用。

关键词 吐哈盆地 煤成烃 显微组分

分类号 P 618. 11

第一作者简介 赵长毅 男 34岁 博士 高级工程师 有机岩石学

1 引言

吐哈盆地纵向上发育三套烃源岩层,即中侏罗统七克台组湖相泥岩,中下侏罗统西山窑组和八道湾组煤层及含煤有机质,以及三叠系与二叠系湖相泥岩。其中中下侏罗统西山窑组和八道湾组煤层及含煤有机质为主力烃源岩^[1]。虽然目前世界范围内已确认一系列煤成油气田,但对于煤成烃主要贡献组分的确认尚未达成共识^[2]。因此如何正确认识与评价吐哈盆地煤源岩中生烃组分,对于煤成烃评价与勘探具有重要意义。

本文借助普通光学显微镜、激光显微镜和透射电子显微镜,从显微—亚显微—超微层次对吐哈盆地煤源岩有机显微组分和演化进行了详细的解剖,确认基质镜质体和超微类脂体分别是显微和超微两个层次煤成烃最主要贡献组分。

2 源岩显微组分组成与分布

2.1 显微组分组成与分布特征

显微组分是普通光学显微镜下可识别的基本有机成分,它是有机质生烃的基本物质单元。吐哈盆地煤显微组分以镜质组为主,可达 50%~90%,平均 70%,惰质组含量从 2%~6%,平均达 2%,壳质组(包括腐泥组)含量低于 10%,平均可达 7%。

煤显微组分组成不均一。平面上,哈密凹陷尤其

三道岭、大南湖等地以富含惰质组为特征(图 1) 镜质组含量平均 50%,而惰质组则为 40%以上,以丝

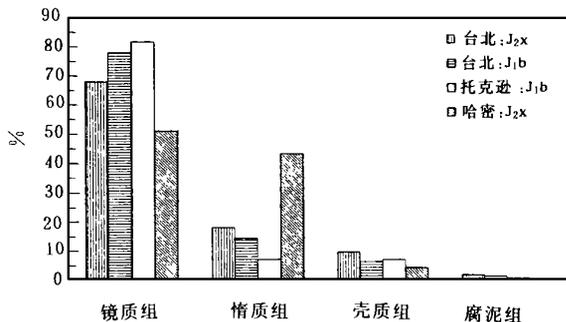


图 1 吐哈盆地不同地区显微组分组成成分分布对比图

Fig. 1 Comparison of the maceral group composition in different depressions of the Turpan-Hami basin

质体和半丝质体为主。壳质组+腐泥组在全盆地煤中含量最低;托克逊凹陷则以高含量的镜质组为特征,可达 80%以上,结构镜质体与均质镜质体及团块镜质体含量为盆地内分布最多的。惰质组含量较低,平均为 7%,壳质组分含量较高达 7%,其中木栓质体平均可达 3%;北部凹陷带则以壳质组分含量高为特征,可达 9%。镜质组分中以无结构的基质镜质体为主,平均可达 50%。纵向上,北部凹陷带

西山窑组和八道湾组煤的显微组分组成亦有差异。镜质组含量,西山窑组低于八道湾组煤,且八道湾组以高含量的具暗色荧光的基质镜质体为主要组分,可达 50%;而西山窑组以富薄壁角质体为特征。需要指出的,无论西山窑组还是八道湾组煤,均见有一定量的藻类体,含量可达 1%。

总体上,吐哈盆地煤显微组分可以概括为“碎、小、薄”和过渡组分含量高。“碎”即含有较高的碎屑体与碎屑壳质体;“小”即壳质组分个体小,如孢子体基本为小孢子体,藻类体的个体也很小;“薄”即角质体为薄壁角质体,而大孢子体和厚壁角质体缺少,树脂体相对缺乏。过渡组分含量高,如半丝质体含量可达 5%,不但存在镜质组与丝质组的过渡,而且存在基质镜质体向沥青质体的过渡。

2.2 超微组分的性质与成因

“超微组分”(Submicromacer)是在常规光学显微镜下难以识别,主要靠透射电镜(TEM)和激光共聚焦显微镜(CLSM)识别的有机组分,组分大小一般在微米级($< 1\ \mu\text{m}$)以下,比微粒体还要小,许多无定形有机质实际上由超细纹层(Ultralaminae)组成^[3]。

2.2.1 超微类脂体的确认

根据吐哈盆地侏罗系煤、高碳泥岩和干酪根的TEM(透射电子显微镜)观察,其中无结构镜质体、矿物沥青基质和一些粗粒体,显示了明显的非均质性。这种非均质性按灰度主要分为四种有机组分^[4]:

(1)片状和块状黑色不透明物质,主要是惰质组。

(2)圆粒状黑色不透明物质,主要是微粒体和亚微粒体。

(3)暗灰色腐殖物质,主要是镜质体。

(4)亮白色,清晰的超微类脂体,灰度很低,说明其含氢量相对较高,芳香度较低。

吐哈盆地八道湾组和西山窑组煤中,超微类脂体主要存在于无结构镜质体(特别是基质镜质体)和少数粗粒体之中;而煤系碳质泥岩和暗色泥岩中超微类脂体主要存在于矿物基质和矿物沥青基质之中。

2.2.2 超微类脂体的数量

吐哈盆地侏罗系煤中超微类脂体含量一般为 5%~12%(图 2)。

根据对大量样品显微和超微层次的对比分析,超微类脂体数量与碎屑类脂体数量存在正相关关

系,也与基质镜质体数量存在正相关关系。

2.2.3 超微类脂体成因分析

超微类脂体的成因可分为原生的高等植物类脂、藻类、细菌三类,和类似于渗出体的次生成因。

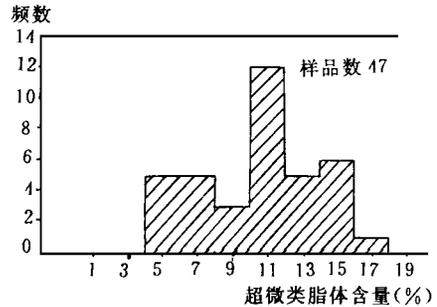


图 2 吐哈盆地侏罗系层中超微类脂体数量分布图

Fig. 2 Ultramicroliptinite content distribution of the Jurassic coals in the Turpan-Hami basin

(1) 高等植物类脂

共聚集激光显微镜下,超微类脂体荧光强度明显低于共生的孢子体和藻类体。一般地,在镜质体反射率 $R_{0.6} 0.6\% \sim 0.7\%$,超微类脂体荧光强度仅为小孢子体和角质体的 3%~60%。这说明超微类脂体性质明显不同于孢子体和角质体,它们不大可能同源。目前烃源岩中的孢子体、角质体是生物大分子(孢粉素、角质素)选择性保存的产物,具有很强的抗分解能力,不大可能降解破碎为超微类脂体。

一部分碎屑类脂体和超微类脂体则有可能来自木栓质体和木栓质成分降解产物。Khorasani等(1991)认为木栓质体易破碎降解而形成大量无定形有机质^[3]。木栓质体组成上,包括了木栓质、蜡质、纤维素、木质化纤维素四个部分。木栓质体中蜡和木栓质部分,可能经历了选择性损失。它们有可能以超微类脂体和碎屑类脂体形式存在于基质状组分,如基质镜质体之中。

侏罗系煤在显微组分层次树脂体含量甚少(一般小于 1%,甚至更低或缺乏),分子级层次来源于高等植物树脂的倍半萜和二萜类含量很低^[1],说明超微类脂体不大可能来源于高等植物树脂。

(2) 藻类

盆地内典型的生油煤,常常含有少量藻类体(1%),从形态判断这些藻类体为绿藻类。超微层次

下来源于绿藻类细胞壁的超细纹层鲜见,说明藻类对煤中超微类脂体贡献较小。

(3)细菌

侏罗系煤中细菌成因的生物标志物如藿烷、苯并藿烷、补身烷系列化合物明显检出。特别是 C_{31} 以上藿烷系列含量普遍高于湖相泥岩^[1]。结合煤中镜质组以基质镜质体占绝对优势的特点,反映了高等植物有机质经历过强烈细菌降解。细菌可能是煤中超微类脂体的主要来源。

(4)次生成因

次生成因的超微渗出体在形态上类似于渗出体,呈充填裂隙状,存在于无结构镜质体和粗粒体中,在吐哈盆地的煤样中少见,绝大多数超微类脂体呈碎屑状产出,说明煤中次生成因的超微类脂体所占比例甚少。

综上所述,我们初步认为煤中超微类脂体主要来源于细菌和抗降解能力较低的高等植物类脂(如蜡质、角质、木栓质等)。

3 主要成烃贡献组剖析

3.1 煤成烃显微岩石学标志

微粒体: 是富氢显微组分沥青化作用的歧化固体残余产物,煤加水热解实验也证明了这点。本区微粒体多小于 $1\mu\text{m}$,呈圆形颗粒,反光下浅灰色、灰白色,无突起。其产出形式主要有两种,一种呈条带状分布于基质镜质体中,并与过渡组分(如半镜质体和半丝质体)共生;另一种呈胞腔充填状或透视镜状产出。

渗出沥青体: 为煤中富氢组分产生的似石油物质的轻质部分排出后所留下的重质沥青,是煤成油发生次运移的显微光学标志,产状和荧光特性为其鉴别的标志。本区所见到的渗出沥青体主要以充填物形式产出。

油滴: 在紫外光辐照下,可以见到浅蓝绿色荧光的油状液体滴珠从镜质体裂隙中渗出。当激发光由蓝光转为红时,液体滴珠渗出现象更强,似泉水涌出,随激发时间增长,呈串珠状液体便浸满整个视域。本区煤中油滴反光下呈深灰、暗灰,并具有晕环;油浸下为黑色、暗黑色,蓝光激发下为黄色~黄灰色,呈圆球形、串球形产出。

煤中广泛存在的明显具各向异性的半丝质体,是富氢显微组分早期发生成烃演化的另一个证据。

3.2 主要成烃贡献显微组剖析

主要成烃贡献组分的确认、分布特征及演化分析,对于正确评价煤系源岩,乃至认识成烃机理具有重要作用。无论何种类型源岩,富氢显微组分才是成烃的物质基础。显微组分的富氢性,在光学显微镜下经紫外光激发便显示荧光性。在热演化过程中,显微组分荧光性质的变化(包括荧光强弱变化,荧光谱中红绿商 Q 值与最大荧光波长之变化,乃至荧光消失等等)皆反映了显微组分分子结构中脂族的脱落与大分子网络相的缩合,反映了显微组分的生经过程^[6]。

3.2.1 基质镜质体

本区煤中基质镜质体普遍具荧光。随成熟度增加,其原始荧光颜色由红褐色至暗褐色,至镜质体反射率(R_0)0.7%时其原始荧光消失。随后又有所增强,但荧光成因已与前不同,为吸附沥青所至。

随成熟度的增加,基质镜质体荧光强度(I_{546})逐渐减弱,最大荧光波长(λ_{max})逐渐红移,红绿商(Q)值逐渐增大,荧光谱由最初的三峰形向单峰形演变;随激发时间的增加,荧光变异性质为明显的正变展示,荧光强度显著增强,荧光谱前二峰显著增强, Q 值减小,呈明显蓝移。与其它贫氢镜质组分不同,基质镜质体荧光光性演变,表明其分子结构中存在较多的脂族成分,在较低成熟阶段($R_0 < 0.8\%$)即具生成液态烃的能力,这一点也为其热解气相色谱特征所证明^[7]。

表 1 吐哈盆地煤中基质镜质体类型

Table 1 Characteristics of five types of desmocollinite

性 类 型	质	荧光颜色	荧光光变属性	产 状	荧光成因
基 质 镜 质 体	a	红褐色荧光强	强正变化	胶结较少的壳屑体	原 生
	b	褐色荧光较强	正负变化总体正型		
	c	暗褐色弱荧光	强正变化变化幅度最大	胶结较多的壳屑体	次 生
	d	红色荧光	正负型总体负型		
	e	无 荧 光			

依显微镜下显示的光性,将本盆地基质镜质体分出五种类型,表 1 为各种类型基质镜质体的光性特征。

a b c类基质镜质体,在北部凹陷带西山窑组

与八道湾组煤中均有分布,且西山窑组以 a b类为主,而八道湾组以 b和 c类为主。在托克逊凹陷八道湾组煤中则以 a和 d类基质镜质体为主。一般而言,镜质组化学结构,主要由具短脂肪链与含氧官能团联结的芳香网络结构组成,不是成油的主要母质。但吐哈盆地基质镜质体,由于生物化学阶段细菌等微生物的强烈改造作用,使其性质得以“改良”,形成富氢镜质体,使其结构中具有氢化芳香结构,富含烃基团,有生成液态烃的能力^[7]。虽然单位体积的基质镜质体,生液态烃能力较壳质组低约一至二倍,但其在煤中的高含量,则大大弥补了单位生烃量低的不足,而成为吐哈盆地煤成烃贡献最主要组分。图 3 为煤基质镜质体含量与生烃潜力关系,二者基本呈正相关。

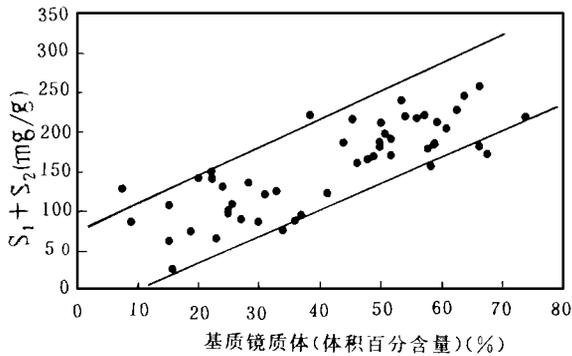


图 3 吐哈盆地煤中基质镜质体含量与生烃潜力关系图
Fig. 3 Relationship between the desmocollinite content and hydrocarbon generating potential of the coal in the Turpan-Hami basin

3.2.2 角质体

本区角质体呈黄色~褐色荧光。荧光测量表明,角质体存在两个荧光显著变化的阶段,即 R_o 0.46%~0.75% 阶段,角质体显示较强的正变化;而 R_o 0.75%~0.85% 成熟阶段荧光变异性质不特征;在 R_o 0.85%~0.95% 之间,又显示明显的正变异。依据显微组分荧光机理,认为角质体存在两个明显的生烃阶段,即 R_o 0.46%~0.75% 为第一生烃阶段,而 R_o 0.85%~1.30% 为角质体第二生烃阶段。显微镜下,可以见到角质体在很低成熟阶段 (R_o 0.49%~0.77%) 已发生变化,并可见到角质体发生烃类渗出现象,尤其是激发光由蓝光转为绿光时,烃类渗出现象更为明显。表明本区角质体在很低成熟阶段 (R_o 0.46%), 已发生沥青化作用。

根据荧光特性,将本区角质体划分出三种类型(表 2)。

表 2 吐哈盆地煤中角质体类型

Table 2 Characteristics of three types of cutinite

类型	性质	荧光颜色	荧光光变属性	产状
角质体	A	绿色荧光	强正变化	细、薄,单个出现
	B	黄色荧光	光变化不显	紧密堆积揉皱强烈
	C	褐色荧光	较强正变化	细层状

3.2.3 木栓质体

本区木栓质体保存有两种形式,即原始细胞结构保存完好,呈典型叠瓦状排列的 A型和原始细胞结构几近消失的 B型。木栓质体 A发亮黄色荧光,而木栓质体 B呈微弱的褐色荧光。两者随辐照时间的增加呈强的荧光正变化,荧光谱发生明显蓝移, λ_{max} 蓝移 80~100 nm。在低成熟阶段 (R_o 0.5%), 木栓质体荧光谱 λ_{max} 即已在红光区域,并表现为荧光谱未闭合的性质,显示了较孢子体光性演变超前特征。随成熟度增加,木栓质体荧光迅速减弱,至 R_o 0.6% 荧光已消失殆尽,光性上已趋向于镜质组,并很难从基质镜质体中分辨出木栓质体。木栓质体这种光性快速蚀变,及其木栓质体随煤成熟度增加其含量在 R_o 为 0.5%~0.6% 间迅速减少,均反映了烃类释放过程的存在,与其本身化学结构变化相吻合。

在本区,我们能见到的最低煤阶的煤样,其反射率已达 0.46%, 而木栓质体被认为在 R_o 0.35% 或

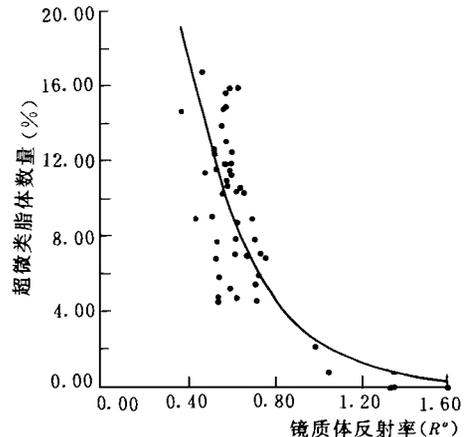


图 4 吐哈盆地煤层中超微类脂体数量与成熟度关系图
Fig. 4 Relationship between contents of ultramicro-lipid and the maturity of Jurassic coals in the Turpan-Hami basin

更早煤化作用阶段即发生了化学蚀变^[5]。据对现代泥炭与软褐煤中木栓质体的研究,在浅埋泥炭中木栓质体荧光谱呈封闭状, λ_{\max} 为 470 nm,而深埋泥炭及软褐煤中木栓质体荧光谱已不能封闭,这表明木栓质体在软褐煤中即开始发生了沥青化作用。

3.2.4 矿物沥青基质

矿物沥青基质不属于显微组分概念范畴,它是有机质与无机矿物的复合体,是煤系泥岩中有机质的主要赋存形式。荧光显微镜下,矿物沥青基质显示较强的荧光,低成熟时为明显的正变异属性,说明它具有较强的生烃潜力。

3.2.5 超微类脂体

吐哈盆地镜质组中超微类脂体数量,随成熟度增加,超微类脂体数量在 $R_{o0.65\%} \sim 0.80\%$ 期间明显降低(图 4),在此阶段超微类脂体转变为微粒体和亚微粒体。吐哈盆地镜质组中超微类脂体的演化,略早于南华北太原组镜质组中超微类脂体演化。

结合显微和超微层次有机岩石学分析,我们认为吐哈盆地侏罗系烃源岩生油组分,在显微层次主要表现为基质镜质体(煤中)、矿物沥青基质(泥岩中)、壳质组(主要是薄壁角质体、小孢子体和木栓质体)和少量腐泥组(主要是藻类体和沥青质体);在超微层次则主要表现为分布在基质镜质体、矿物沥青基质、半丝质体和粗粒体中的某些超微类脂体。基质

镜质体是吐哈盆地煤成烃最主要的母质。壳质组(含腐泥组)在煤成烃中具有不可忽视贡献。虽然壳质组(含腐泥组)含量与生烃潜力关系相关性不好,这不能说明壳质组在成烃过程中不起作用,而是由于其含量较主要生烃贡献组分基质镜质体要低得多,不能成为煤成烃最主要的母质。

参 考 文 献

- [1] 程克明等.吐哈盆地油气生成.北京:石油工业出版社,1994.
- [2] Powell T G et al, Petroleum source rock assessment in non-marine sequences pyrolysis and petrographic analysis of Australian coals and carbonaceous shales. Org. Geochem. 1991, 17 (3): 375~ 394.
- [3] Taylor G H et al, New light in the origin of Cooper basin oil. APEA Journal, 1988, 303~ 309.
- [4] 王飞宇等.煤和烃源岩镜质体中超微类脂体检出及意义.科学通报,1993,38(2): 151~ 154.
- [5] Khomasani K G et al. Geological and laboratory evidence for early generation of large amounts of liquid hydrocarbons from suberinite and subereous Components. Org. Geochem. 1991, 17 (6): 349~ 864.
- [6] 赵长毅.煤及源岩的有机成分激光诱导荧光研究方法、机理及应用.中国矿业大学北京研究生部博士论文,1991.
- [7] 赵长毅等.吐哈盆地煤中基质镜质体生烃潜力与特征.科学通报,1994,39(21): 1979~ 1981.

Analyses of the Macerals Contributing Mainly to Hydrocarbons Derived from Coals of the Turpan-Hami Basin

Zhao Changyi¹ Cheng Keming¹ and Wang Feiyu²

¹(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083) ²(Petroleum University, Beijing 100083)

Abstract

The Turpan-Hami basin is a typical basin in which hydrocarbons are derived from coal, and main source rocks are coal with coaly organic matters in the Lower-Middle Jurassic. The analysis of organic petrology showed that the composition of macerals is of characteristic of the high content of groundmass macerals (such as desmocollinite, macrinite), small individuals of sporinite and alginite, and higher contents of transition macerals (such as vitrinite, inertinite, desmocollinite and bituminite). By means of microscopy, laser microscopy and transmitting electronic microscopy (TEM), it was shown that the main oil-generating macerals are desmocollinite under microscopic observation. Iptodetrinite, cutinite, suberinite and sporinite have important contributions to the hydrocarbon from coal; Under TEM the main oil-generating maceral is the submicroliptinite scattered in desmocollinite and macrinite, and it is originated from degraded materials of bacteria. The high content of desmocollinite in coal remedies its lower hydrocarbon generation potential per unit. The cause of hydrogen richness in desmocollinite attributes to strong degradation and reworking of bacteria to it in the biochemical stage.

Key Words Turpan-Hami basin hydrocarbon derived from coal maceral organic petrology