

有机显微组份成熟度特征与煤成油气期评价

吴俊

(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

作者根据煤中主要显微组份的反射率分布特征,对煤成烃作用和煤成油气生成期进行了评价。有机显微组份的光性演化与油气生成有着一定的相关性,它们的组合特征又可对油气生成期作出评价。本文对中国南方龙潭煤系南桐煤田的煤成烃进行了详细研究。

关键词 显微组份 成熟度 煤成烃

作者简介 吴俊 男 37岁 博士后 煤岩学

煤有机质类型、含量以及成熟度研究构成了煤成烃研究的三要素。其中有机质的成熟度具有相当重要的作用(Tissot BP et al, 1978)。过去人们对煤层的研究往往注重于镜质体反射率的测定,这固然很重要,但常常忽略了各有机显微组份成熟度的测定,而它们对煤成烃的评价则是非常重要的。笔者以中国南方南桐煤田龙潭煤系为例,测定了煤层中各类主要有有机显微组份的反射率,探讨煤成油气的形成期。

1 南桐煤田地质概况

南桐煤田是中国西南地区的能源基地之一,它位于重庆东南80km,北起沙窝、南到藻渡,与松藻矿区毗邻,南北长77.5km,东西宽1.5~10km,面积约305km²。

南桐煤田内自下志留统到下、中侏罗统自流井群均有出露,其间缺失泥盆、石炭系。下二叠统西霞组(P_{1g})和茅口组(P_{1m})由碳酸盐岩组成。上二叠统龙潭组(P_{2l})为海陆交替相含煤沉积,由粘土岩、炭质泥岩、砂质泥岩、砂岩、薄层灰岩及2~6层煤组成,煤层从上到下分别为1~6号煤层,其中4、6两煤层为采煤层。4号煤层以木栓质体为主,其含量一般大于30%;6号煤层以镜质组为主。上二叠统长兴组(P_{2c})由含沥青质碳酸盐岩、钙质泥岩组成。下三叠统下部为飞仙关组(T_{1f})、上部为嘉陵江组,岩性分别为泥质灰岩和碳酸盐岩。中三叠统雷口坡组(T_{2l})主要由白云石、碳酸盐岩和水云母粘土岩组成。上三叠统须家河组(T_{3x})主要由砂岩、泥岩和煤线组成。下、中侏罗统自流井群(J₁₋₂)以砂岩为主。

南桐煤田煤层顶板多为砂质泥岩、泥岩、钙质泥岩及硅质灰岩;底部为粘土岩、泥岩等。它们是煤层烃类物质的良好封闭层。煤种分别为肥煤、焦煤、瘦煤和贫煤。煤质为中—高灰、高硫煤。煤层具有强烈的煤与瓦斯倾向性,煤层瓦斯含量为6~30m³/t,并具有煤层瓦斯爆炸的危险性。南桐煤田煤层中富含液态烃(表1)4号煤层通常比6号煤层多。这些中高变质程度煤中有如此高的含烃性在中国其它煤中还是很少见的。另外,南桐煤田的地层中还有“石油”的显示。实际上它是一个煤、油、气共存的煤矿区。

表1 南桐煤田煤中各类烃产物分布(括号内为样品数)

煤层	矿名	R^o (%)	T_{max} (°C)	C (%)	S_o (mg/g)	S'_1 (mg/g)	S_2 (mg/g)
4号煤层	砚石台	1.04(5)	454(5)	78.02		19.24(5)	170.78(5)
	南二井	1.25	468	84.25		6.60(2)	146.00(2)
	鱼田堡	1.68(4)	486(5)	87.03	0.18(5)	1.94(5)	59.45(5)
6号煤层	砚石台	1.08(5)	458(4)	77.57		10.16(4)	107.08(4)
	南二井	1.23	464	83.78	0.10	3.30	94.90
	鱼田堡	1.64(4)	487(5)	86.45		1.25(5)	64.54(5)

2 煤层有机显微组份反射率分布与煤成烃性的关系

2.1 镜质组反射率分布与煤成烃评价

通过测定均质镜质体(Telocollinite)和基质镜质体(Desmocollinite)的油浸反射率,可以发现在砚石台井田4号煤层的 R^o 均略低于6号煤层(表2、图1),并且基质镜质体的 R^o 低于均质镜质体,而到了较高热演化阶段的鱼田堡—东林井田,4号煤层中这两种有机显微

表2 南桐煤田煤层有机显微组份反射率(R^o %)

显微组份	砚石台矿煤层		南桐二井煤层		鱼田堡—东林煤层	
	4	6	4	6	4	6
均质镜质体	1.08	1.10	1.22	1.25	1.68	1.44
基质镜质体	1.04	1.10	1.18	1.20	1.72	1.71
木栓质体	0.92	0.90	1.14	1.12	1.95	1.90
丝质体	2.0~3.0	2.0~3.0	2.5~3.2	2.5~3.2	2.8~4.5	2.8~4.5
粗粒体	2.0~2.2	2.0~2.2	2.2~2.5	2.2~2.5	2.5~3.0	2.5~3.0
微粒体	1.3~1.8	1.0~1.6	1.5~2.5	1.5~2.5	>2.5	>2.5

组份的 R^o 均大于6号煤层,其中基质镜质体的 R^o 也高于均质镜质体。这种规律的变化完全取决于镜质组的性质。大家知道镜质组主要由高等植物中木质素和纤维素在成煤过程中形成有机显微组份,但由于它们所经受的生物地球化学作用(Biogeochimistry)和凝胶化作用(Gelatinization)的差异,将导致它们在热演化作用过程中具有不同的光学性质。均质镜质体具有均一的光性,它与温度变化有较好的协调性,因此它作为有机成熟度的有效指标。基质镜质体是较强生物地球化学作用和凝胶化作用的产物,它胶结有一些其它的有机显微组份(主要是壳质组),它的超微结构具有微孔性(Stach E, 1982)。前者为它提供了一定的生烃有机质,因此它在中低变质程度时由于壳质组份的富烃(氢)性,而对 R^o 具有一定程度的抑制性, R^o 通常低于均质镜质体,到了较高演化程度,由于它的微孔结构使它具有良好的导热性。另外壳质组的强生烃作用,又使它具有一定的共碳化作用,这样共同作用使它的 R^o 迅速

大于均质镜质体。由此可见, 基质镜质体的成烃性要高于均质镜质体。

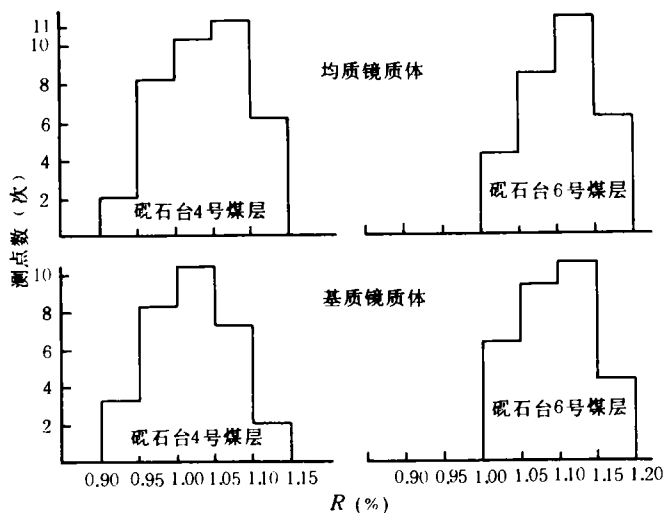


图1 砚石台井田4、6煤层镜质体反射率 R^o 分布图

2.2 木栓质体反射率分布与成烃评价

木栓质体的 R^o 分布也具不均一性(图2)。通常4号煤层木栓质体的 R^o 要略高于6号煤层。在区域上, 砚石台井田的木栓质体的 R^o 为 0.90%~0.92%, 南桐二井为 1.12%~1.14%, 在较高热演化程度的鱼田堡和东林井田则突变为 1.90%~1.95%。木栓质体的这种光性变化还反映了当它达到一定的热演化程度后, 它的 R^o 将超过镜质组的 R^o (表2)。这种转折变化的交点可能处于 R^o 为 1.5%~1.6%之间, 此时也是煤成烃全盛期。木栓质体在偏光显微镜下还具有明显的各向异性。并在达到较高的热演化阶段后, 这种特征更为突出。木栓质体的这些光学性均可进行人工成烃热模拟实验加以证明(图3、4), 结果表明在低热演化程度的树皮煤中, 木栓质体的 R^o 均低于镜质体, 它们均不具各向异性。

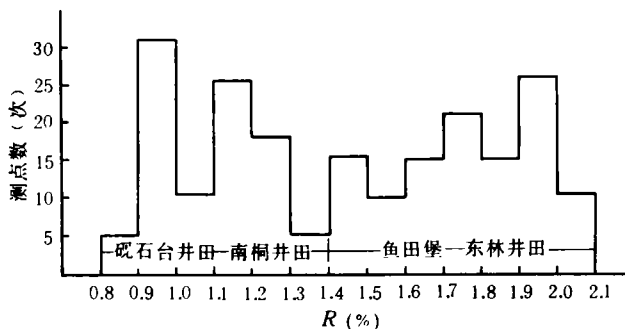


图2 南桐煤田煤层木栓质体 R^o 分布图

随着热演化程度的增加, 煤成烃作用增强, 煤中形成了一些烃类产物, 其中木栓质体具有高产烃性特征(吴俊, 1992), 而镜质体的产烃性稍逊色。必须指出: 有机显微组份的光学性

质与其性质和产烃性等因素有关。在由木栓质体组成的树皮煤中,由于木栓质体的高产烃性而使得煤层富含烃性。此外由于树皮煤在进入正常生油门限内具有较快的光性变化并持续相当时期,它表示着油气生成的速度和持续性。而只有在进一步的热演化阶段,木栓质体的 R^o 才逐渐大于镜质体。而在以镜质体为主的煤层中,木栓质体与镜质体的光性变化转折点早于树皮煤(图 4)并大约在 R^o 为 1.5% 处。不论怎样,木栓质体具有高产烃性和快速成烃性,它所生成的烃类产物又将其碳物质发生共碳化作用。这样在总的热演化背景下将发生一系列的光性变化。从图 3、图 4 上可以看出,它们不仅表现出 R^o 的变化,而且还表现出一系列各向异性特征,并且具有明显的气孔结构、微粒体与次生显微组份。

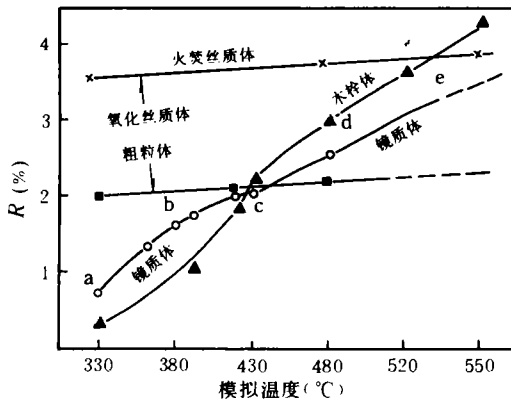


图 3 木栓质体热模拟样品反射率与模拟温度关系及显微组份演化特征

(浙江长广煤田东风卡矿, $R^o=0.70\% \sim 0.72\%$)

- a. 正常特征; b. 有裂纹产生; c. 有细粒各向异性体出现;
- d. 各向异性增强; e. 各向异性很强并有大量气孔

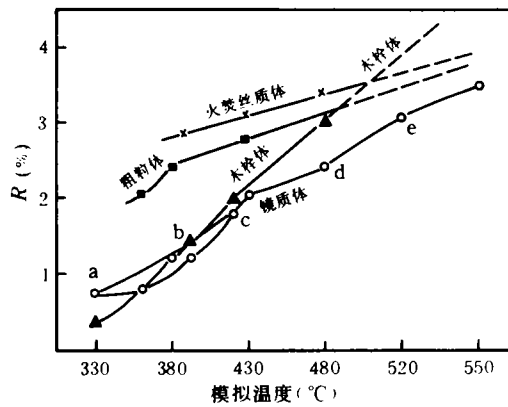


图 4 水城 3 号气煤中(镜亮煤)有机显微组份热模拟特征

(贵州水城煤田大河边矿, $R^o=0.70\% \sim 0.72\%$)

- a. 正常煤特征; b. 有弱光学异性; c. 有各向异性体出现;
- d. 各向异性增加; e. 各向异性很强并有较多的气孔

2.3 丝质体和粗粒体反射率分布及煤成烃评价

丝质体和粗粒体均属于惰性组,它们具有黄—亮黄反光色,反射率均高于其它有机显微组份。通常认为它们光性变化微弱,几乎不受热成熟度的影响。但认真研究后,可以发现南桐煤田煤层中的丝质体可以分成两种类型,一种是氧化丝质体(Degradofusinite),它具有较弱的光性,且随热演化程度的增加,其 R^o 增加的特征(图 3,4),这一现象说明了它具有一定的成烃潜力;另一种类型是火焚丝质体(Pyrofusinite),它是森林火灾的残留物,具有强反射光和高反射率,它通常不受热演化作用的影响,其生烃潜力几乎为零。两种类型丝质体的 R^o 分布也很不均匀(图 5a),这与丝质体的性质有关,并可能受以下几方面因素的控制。

- (1) 丝质体生物降解-氧化程度的不均一性;
- (2) 由于丝质体吸附烃类物质而使 R^o 有所控制;
- (3) 形成丝质体的原始母质类型不一;
- (4) 丝质体吸附烃类物质而发生共碳化作用,并使 R^o 增向。

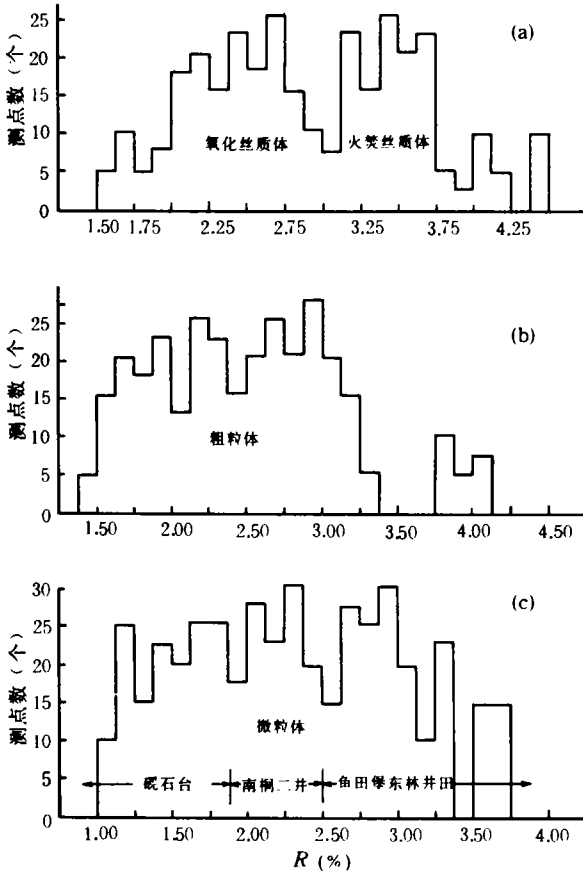


图5 南桐煤田丝质体(a)、粗粒体(b)、微粒体(c)反射率分布图

然而,有些丝质体并非完全属于“死碳”或“不成烃物质”。由于煤层有机质具后期成气特征,因此它在某些条件下也具备着一定的生烃潜力。

南桐煤田煤层中粗粒体的 R^o 通常比丝质体低,这可能与粗粒体的形成有关。多数学者认为它们是高等植物残体经受凝胶化作用发生的不均一性,并将反映在 R^o 分布的不均一性上(图5b)。这些均与氧化丝质体有着类似的性质。

2.4 微粒体 R^o 分布与煤成烃评价

微粒体是一种次生有机显微组份,通常是煤成烃的产物(Teichmuller, 1974)。它的产量与丰度标志了煤层有机质的成烃作用强度。南桐煤田煤层中微粒体的 R^o 具有三个方面的特征。

(1)微粒体的 R^o 测值分散(图5c),这是由于作者所测的是微粒体集合体的缘故。它们通常与粘土矿物共生,这种混合作用势必降低微粒体的 R^o 。

(2)微粒体是有机质在热演化过程中生烃的残渣,它的反应机理具有成焦性的特征。因此,在偏光显微镜

下,它具有一定的各向异性。

(3)微粒体 R^o 在区域上具有随演化程度的增加而增加的趋势。

3 用镜质体反射率推断油气生成期

镜质体反射率(R^o)是最常用并是最有效的热成熟度指标。采用 Tissot 等提出的镜质体反射率与油气分带关系(图6)可以看出:南桐煤田煤层有机质均处于油气生成的高峰期内。如暖石台井田煤层均质镜质体 R^o 为 1.08%~1.10%左右,南桐二井的 R^o 为 1.22%~1.25%鱼田堡—东林井田煤层有机质的热演化程度虽然较高, R^o 为 1.64%~1.68%,但它们仍处于凝析油和湿气带中,镜质体 R^o 的数据与现有煤层的含油气性相一致。根据镜质体 R^o 的配套,笔者认为南桐煤田煤层有机质生油期的 R^o 可能在 1.10%之前。而大量生成重烃气体高峰期的 R^o 可能在 1.10%之后。

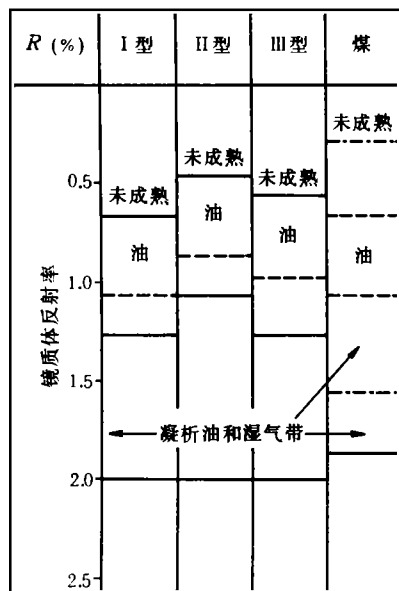


图6 镜质体反射率 R^0 与油气分布带关系
 - - - 生油高峰(虚线); — 生油气界限(实线);
 - · - · - 不封闭生油气界限(点划线);
 (据 Tissot 等修改)

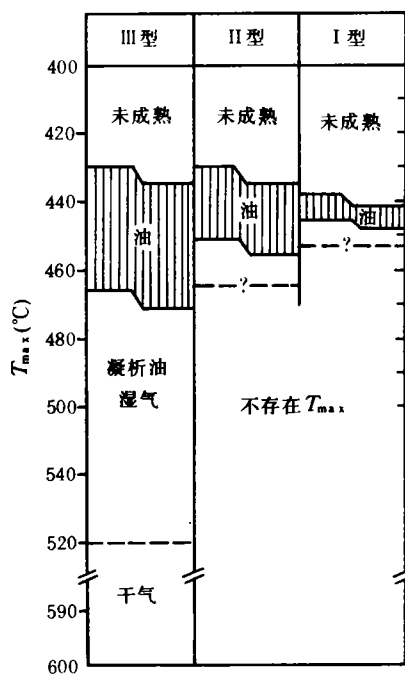


图7 用 T_{max} 判断不同有机质类的生油期
 (Espitalie T 等, 1985)

4 用 T_{max} 指标判断油气生成期

Espitalie T 等(1985)提出不同类型有机质在不同油气形成阶段,具有不同的 T_{max} 值范围(图7)^[5]作者根据南桐煤田各煤层 T_{max} 值分析可以得到:砚石台井田煤层均落入成油高峰期,而南桐二井煤层则落入凝析油—湿气区内,对于鱼田堡与东林井田煤层来说则均落入湿气 and 干气形成区内。由此可见作者在砚石台和南桐二井井田内易发现液态烃类有机质。而 堡—东林井田则以富气态烃煤层为特征。

5 由煤层中有机显微组份组合推断油气生成期

在研究中,作者发现南桐煤田煤层中普遍存在着渗出体和变渗出体、微粒体和各向异性微粒体、以及各向异性体等。在此根据煤层中这些有机显微组份的产状,可以大致推断煤层有机质生成油气的时期。由于渗出体、变渗出体是一种次生有机显微组份,它是有机质成油作用后的产物,即有机质在成烃过程中可以形成轻、重两类烃类产品,起初它们具有一定的粘度和流动度,在一定“力”的作用下会沿着可运移空间发生运移充填作用,其中轻质烃类产物的气态烃和流动性好的液态烃运移出原地或本煤层,而重质部分则残留于煤层裂隙空间

中。作者在南桐煤田的煤层中普遍看到这种有机显微组份。它们的存在首先肯定了南桐煤田煤有机质所形成的液态烃发生过一定的运移作用。砚石台井田4号煤层中可以常见到一种网格状的渗出体。这种产状的渗出体有力地证明了4号煤层中有机质所发生的成烃作用强度和油气运移能力。当然在鱼田堡—东林煤层中还可以看到更为丰富的渗出体,如网格状变渗出体、脉状变渗出体、网络状变渗出体等。这些变渗出体则可能是有机质变成油时的热变产物。根据渗出体成因理论可以推测南桐煤田油气生成期均在 R^o 为1.10%以前。而鱼田堡—东林井田中丰富的变渗出体产状则可进一步说明该区有机质经历了强烈的热变作用和具有热演化多期性的特征。

同样在砚石台井田煤层中也发现了一些各向异性显微组份,它们在反光下具有粗粒体特征,但它们在正交镜下表现出强烈的均匀各向异性。分析认为它们可能是一些成烃活化能较低而且生烃能力强的有机显微组份。它们的存在也进一步说明了煤层有机质的生烃能力以及生油气期在 R^o 为1.10%以前的特征。微粒体的特征也是如此,它在 R^o 为1.10%以前南桐煤田煤层也广泛存在。

然而,南桐煤田煤层中异常油气显示与有机显微组份的强成烃作用标志还可从另一种角度说明有机质在受热程度上有明显的差异性。粗略分析该煤田的地质背景时可见,煤系上覆地层厚度并不大,而在砚石台至鱼田堡不足十几公里的范围则会引起强烈的煤变质差异。对鱼田堡—东林井田的煤变质区除了用人们习惯的动力变质作用因素解释外,是否还存在着其它的因素,这是值得人们加以考虑的。作者初步认为,该煤田不仅是一个构造活动区,而且有可能是一个古地温的异常区,其原因有以下几点:(1)镜质体反射率在该区煤层中具有大于邻区的现象,而反射率又是古温度的一个标尺;(2)高热演化程度的煤层中有较多的变质气孔;(3)煤层甲烷的 $\delta^{13}C_1$ 异常重,是否与深源气的氢化作用有关值得讨论;(4)在同煤系高热演化程度的煤中有W、Ti的显示,是否有异常热源的影响也值得考虑。对它们的认识,将有助于对鱼田堡—东林乃至整个西南煤田煤成烃和煤层瓦斯灾害的防治。

(收稿日期:1993年10月30日)

参 考 文 献

- 1 Tissot B P and welte D H Petroleum Formation and Occurrence-- A new Approach to Oil and Gas Exploration, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 1978
- 2 Stach E Coal Petrology, Berlin. 1982
- 3 吴俊. 中国南方龙潭煤系树皮煤岩石学特征及成烃性研究. 中国科学 B 辑. 1992, (1)86~93
- 4 Teichmüller M. über neue Macerale der liptinitgruppe und die Entstehung des Micrinite, Fortschr, Geol. Rheinld. Weslf. 1974b(24)37~64
- 5 Espitalie T Rock-Eval Pyrolysis and Its Applications, Institut Francais Du petrole. 1985

(下转 350 页)

A DISCUSSION ON THE GENETIC MODEL OF CRACK SYSTEM IN THE PERMIAN CARBONATE ROCKS OF SICHUAN PROVINCE

Fan Shengli

*(Research Institute of Petroleum Exploration and
Development, Zhongyuan Bureau of Petroleum Exploration)*

Tong Chongguang

(Chengdu Institute of Technology)

Abstract

The authors proposed a genetic model of crack system of the Permian carbonate reservoirs of the Sichuan basin. The model shows that structural fractures were developed in the dense carbonate rocks due to tectonic activity, then the fractures were dissolved and enlarged, and various secondary pores, cavities and cracks were formed and connected with each other, generating a crack system with the function of reservoir and permeability for fluid flow. The crack system can continuously be reformed and may be filled during the long tectonic activity and diagenesis. The present valid crack systems are the final result of multicycle tectonic movements and diagenesis. Their distribution is regular and anisotropic or probabilistic.

(上接 383 页)

CHARACTERISTICS OF ORGANIC MACERAL MATURITY AND EVALUATION OF COAL- RELATED HYDROCARBON PHASES

Wu Jun

(Institute of Geology, Academia Sinica)

Abstract

Based on the distribution of reflectances of main macerals of coal, the formation of hydrocarbon in coal and the phases of coal-related hydrocarbon were evaluated. There is certain correlation between the evolution of optical character of organic maceral and the generation of oil and gas, and hydrocarbon-generating phases can be evaluated in terms of their composite characters. In this paper, the author detailed the coal-related hydrocarbon of the Longtan coal-bearing series of the Nantong Coal field, Southern China.