

文章编号: 1000-0550(2000)04-0590-05

贵州水城煤中基质镜质体生烃潜力、 烃类组成及生烃模式^①

孙旭光¹ 王关玉¹ 金奎励²

1(北京大学地质系 北京 100871) 2(中国矿业大学北京分校 北京 100083)

摘要 基质镜质体是华南晚二叠世煤中的主要组分之一,其在煤中含量的多少、生烃潜力的大小、生烃特性等直接影响到该区煤成油气资源的评价。采用岩石热解、热解气相色谱以及开放体系下热模拟等方法,对贵州水城晚二叠世(P₂¹)龙潭组煤中基质镜质体的生烃潜力、烃类组成特征、生烃模式进行了研究。结果表明:本区基质镜质体的生烃潜力、氢指数分别为191.99 mg/g和250mg/g TOC,远高于丝质体的生烃潜力(26.17 mg/g)和氢指数(35mg/g TOC),而小于树皮体的生烃潜力(297 mg/g)和氢指数(491mg/g TOC);基质镜质体热解烃类组成中以轻质烃为主,湿气次之,可见本区基质镜质体不但能生成气态烃,而且能生成一定量的液态烃,这归因于其中所含大量的超微类脂体;基质镜质体“生油窗”温度范围为375~475℃,主要生烃温度区间为400~450℃,其中415~430℃为生烃高峰期,420℃处产烃率最高。基质镜质体这种在高成熟度下(大于VR_o1.0%)大量生烃的特点对在成熟度普遍较高的华南地区寻找油气田具有重要的意义。

关键词 贵州水城 基质镜质体 生烃潜力 烃类组成 生烃模式

第一作者简介 孙旭光 男 1966年出生 讲师 有机地球化学、有机岩石学

中图分类号 P593 TE122.1⁺1 文献标识码 A

1 引言

南方新区作为我国跨世纪的油气资源后备基地,有两个勘探领域,一是海相沉积区,二是陆相沉积区。贵州中西部地区是华南地区最主要的聚煤地区,晚二叠世是本区最主要的聚煤时期。因此,研究贵州水城晚二叠世煤及其主要显微组分生烃特性对本区乃至华南地区煤成油气资源评价和勘探具有重要的意义。贵州水城晚二叠世含树皮体气煤具有较高的生烃潜力,究其原因,除与煤中生烃潜力较高、含量最多的显微组分——树皮体有关外,次组分——基质镜质体的含量及生烃特性对本区煤成烃也具有很重要的影响^[1]。

有关镜质体的生烃性,前人已进行了较多的研究。早期普遍认为镜质体热演化轨迹与II型干酪根类似,因此只能生气不能生油。但Bertrand^[2]的模拟实验和热解色谱结果表明,基质镜质体与氢指数成线形关系,镜质体具有一定的生油潜力,这很可能与其中含有高生油潜力的超显微颗粒有关;Mukhopadhyay等^[3~4]认为,基质镜质体不仅可以作为气源岩,也可以作为油源岩;Smith等^[5]认为,吉普斯兰盆地的煤成油除壳质组分外,镜质组分也是贡献组分;Taylor等^[6~8]、赵师庆等^[9]、王飞宇等^[10]、于冰等^[11]指出:在富氢镜质体

中含有浸染状的发荧光的超微类脂体存在,这类镜质体为油源岩之一。赵长毅等^[12~14]、程克明^[15]、刘德汉等^[16]研究表明,富氢基质镜质体是吐哈盆地最主要的生油组分,并具有早期生烃的特征。固体¹³C核磁共振结果显示,镜质体结构中以芳碳为主,脂碳次之,并且脂碳中以甲基为主,亚甲基较弱^[17~18]。可见,基质镜质体生油的根本原因与其中存在大量的超微类脂体有关。

本文在严格煤岩显微组分分离富集的基础上,通过岩石热解(Rock-Eval)、热解气相色谱(Py-Gc)以及开放体系下热模拟等方法,对贵州水城晚二叠世煤中基质镜质体的生烃潜力、生烃模式、烃类组成进行了较为系统的研究,以此认识基质镜质体对本区煤成烃的贡献。

2 样品性质

2.1 有机岩石学特征

样品采自贵州水城大河边煤矿和汪家寨煤矿上二叠统(P₂¹)龙潭组含树皮体气煤。其中的镜质体是一种富氢镜质体,因而所测定的反射率值普遍偏低,受到抑制。本区煤有机显微组分以树皮体和基质镜质体为

① 国家自然科学基金项目(批准号:49672131)资助

收稿日期:1999-08-31 收修改稿日期:2000-03-27

表1 贵州水城晚二叠世龙潭组合树皮体煤显微组分定量统计结果

Table 1 Macerals analyses from Late Permian Longtan Formation coals in Shuicheng Guizhou Province

煤矿	层位	时代	煤种	R_{ov}	C_1	C_2	SF	F	Sp	Cu	Re	Ba	Mi	M
水城大河边7~8层	P ₂ ¹	气煤	0.61	4.5	28.6	7.2	9.3	4.9	1.8	2.1	40.7	0.8	1.1	
水城汪家寨	11层	P ₂ ¹	肥煤	0.82	3.6	29.1	8.5	8.1	5.2	1.9	1.6	39.3	1.1	0.9
水城汪家寨	11层	P ₂ ¹	肥煤	0.95	4.8	29.7	6.3	9.7		4.6	2.3	1.8	38.5	1.1

注: C_1 均质镜质体, C_2 基质镜质体, SF 半丝质体, F 丝质体, Sp 孢子体, Cu 角质体, Re 树脂体, Ba 树皮体, Mi 微粒体, M 矿物, R_{ov} 镜质体反射率(%)

主,其含量分别为40%和30%,另外还含有少量的大、小孢子体和树脂体。其中树皮体,大、小孢子体发亮黄色的荧光,而基质镜质体基本上不发荧光或具有微弱的暗褐色荧光。

2.2 煤岩显微组分分离富集

煤是一种结构非常复杂的非均相固体混合物,不同母源物质经过成岩作用形成形态与化学结构不同的组分,这些组分直接决定着煤的性质与油气生成能力。煤显微组分分离是一项十分困难的技术,但它是研究单组分化学性质的重要前提。本文以氯化锌为比重液,采用手工碎样→筛选法→浮选法→高速离心法这一综合的显微组分分离技术^[19],对本区含树皮体煤中的基质镜质体、树皮体和山西繁峙老第三系煤中丝质体进行了分离富集,其结果基质镜质体、树皮体和丝质体的纯度分别为90%、92%、94%。在基质镜质体10%的非基质镜质体组分中均质镜质体占了6%,其余的为树皮体(2%)和半丝质体(2%)。

3 开放体系下成烃热模拟实验

3.1 开放体系下热模拟分析法

将样品粉碎过筛80目后,称取100mg,放入热解炉中,利用I型Rock-Eval岩石评价仪,在氦气保护下以20℃/min的升温速率加热样品至600℃,由积分仪每5℃记录一次热解烃量,由此得到从200~600℃一系列瞬时产烃量及累积生烃量。

样品 t_{max} 的测定是把一份岩样在热解炉中以20℃/min升温速度加热至370℃、400℃、420℃、450℃、500℃。然后把预加热过的样品热解,测定其 t_{max} 值。

热模拟法计所得包括油和气的产烃总量(mg 烃/g 岩石),不能把油和气、重烃和轻烃分开计算,要解决这个问题,须通过热解气相色谱法实验。

3.2 热解气相色谱分析法

把一定量样品置于热解炉中,以选定的温度间隔由低到高顺序加热,样品加热到某一预定温度时停止加热,取下冷阱,加热收集物瞬时气化,检测该温度范

围内的热解产物,然后,重新加热样品至新的预定温度,重复上述过程,这样就得到各温度范围(<370℃、370~400℃、400~420℃、420~450℃、450~500℃、500~600℃)基质镜质体样品分步热解气相色谱图及相应的数据。

热解气相色谱仪是采用美国CDS-820地化系统分析仪。柱长50m,热解炉初始温度为40℃,升温速率50℃/min,载气为氦气,流量60mL/min。色谱柱初始温度为40℃,升温速率8℃/min,终温300℃。液氮冷阱(-180℃),积分仪为美国HP3392A。

4 结果与讨论

4.1 岩石热解特征

表2为贵州水城基质镜质体岩石热解结果,其生烃潜力、氢指数分别为191.6mg/g、250mg/g TOC;树皮体的生烃潜力、氢指数分别为297mg/g、491mg/g TOC;丝质体的生烃潜力、氢指数分别为26.2mg/g、35mg/g TOC。可见,基质镜质体的生烃潜力、氢指数小于树皮体,而远大于丝质体。并且本区气煤(VR_o 为0.61%)中基质镜质体的生烃潜力也大于吐哈盆地下侏罗统煤(VR_o 小于0.40%)中基质镜质体的生烃潜力(168mg/g)。

4.2 不同热模拟温度下基质镜质体生烃特征

由表3,图1基质镜质体在不同温度段生烃特征可见:(1)基质镜质体在200℃开始有烃类物质显示,“生油窗”为375~475℃(以累计生烃率10%~90%计算),主要生烃温度区间为400~450℃(对应的 VR_o 为1.0%~1.50%),生烃高峰期对应温度范围为410~430℃,最大生烃率对应温度为420℃。各温度段200~370℃、370~400℃、400~420℃、420~450℃、450~500℃、500~600℃对应的产烃率分别为9.02%、13.35%、26.73%、32.12%、12.22%、6.55%。可见,本区基质镜质体具有在高成熟度下大量生烃的特点,这与吐哈盆地基质镜质体主要生烃温度区间为300~400℃,具有生烃期早的特点不同,此特点对在成熟度普遍较高的华南地区寻找油气田具有重要的意

表 2 基质镜质、树皮体、丝质体岩石热解分析结果

Table 2 The data of Rock-eval Pyrolyses of desmocollinite, barkinite and fusinite

样品	产地	时代	VR ₀ /%	TOC /%	S ₁ /mg·g ⁻¹	S ₂ /mg·g ⁻¹	S ₃ /mg·g ⁻¹	PI	S ₂ /S ₃	HI /mg·g ⁻¹	OI /mg·g ⁻¹	PC /%
基质镜质体	贵州水城	P ₂ ¹	0.61	72.2	11.6	180	14.7	0.06	12.3	250	20	15.9
树皮体	贵州水城	P ₂ ¹	0.61	58.4	10.3	287	21.2	0.03	13.6	491	36	25.7
丝质体	山西蔡峙	E	0.52	67.7	2.4	23.8	20	0.09	1.2	35	30	2.2

注: VR₀ 基质镜质体反射率, TOC 有机碳总量, S₁ 可溶烃量, S₂ 热解烃量, S₃ 热解二氧化碳量, HI 氢指数, PC 有效碳, PI 产率指数, S₂/S₃ 类型指数

表 3 贵州水城晚二叠世煤中基质镜质体在不同温度下生烃特征

Table 3 The characteristics of hydrocarbon generation of desmocollinite in different temperatures from Late Permian coals, Shuicheng Guizhou Province

模拟温度/°C	200~370	370~400	400~420	420~450	450~500	500~600
反射率/%	0.61~0.82	0.82~1.02	1.02~1.18	1.18~1.55	1.55~2.04	2.04~3.25
C ₁₊ /mg·g ⁻¹	16.27	24.08	48.20	57.92	22.04	11.82
C ₁ ~C ₅ /mg·g ⁻¹	0.54	7.24	16.07	20.19	9.58	7.96
C ₆₊ /mg·g ⁻¹	15.73	16.84	32.13	37.73	12.46	3.86
C ₆ ~C ₁₄ /mg·g ⁻¹	13.46	14.54	25.82	34.05	11.56	3.32
C ₁₅₊ /mg·g ⁻¹	2.27	2.30	6.31	3.68	0.90	0.54
C ₁ /mg·g ⁻¹	0.04	0.74	2.05	5.03	3.33	4.40
C ₂ ~C ₅ /mg·g ⁻¹	0.50	6.50	14.02	15.16	6.25	3.56
Pr/Ph	2.13	4.50	5.09	1.50	0.40	1.00
苯+甲苯+二甲苯/mg·g ⁻¹	2.90	2.09	3.24	3.84	1.28	1.16
苯+甲苯+二甲苯/C ₁₊	17.82	8.67	6.75	6.63	0.81	9.79

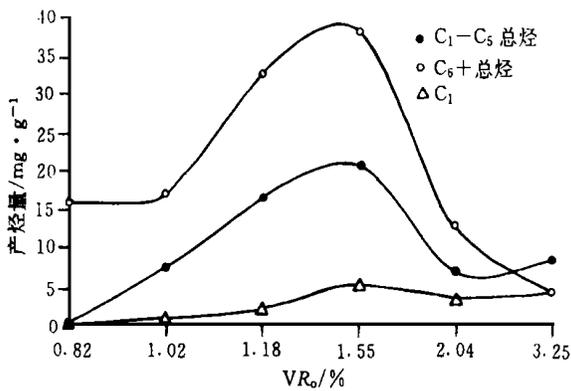


图 1 贵州水城基质镜质体生烃模式图

Fig. 1 The hydrocarbon generating model of desmocollinite from Shuicheng coal field Guizhou Provinces

义; (2) 气态烃与液态烃演化规律相似, 液态烃产量高的阶段, 气态烃产量也高, 反之液态烃产量低的阶段, 气态烃产量也低, 据此推断气态烃中相当一部分是由液态烃进一步裂解变来的; (3) 开放体系下, 基质镜质体热模拟产物以烯烃、烷烃为主, 此外还含有相当数量

的芳烃, 其中苯+甲苯+二甲苯的演化模式与烷烃(稀烃)正好相反, 芳烃在低演化阶段(200~370 °C)和高演化阶段(500~600 °C)分别出现两个产烃高峰, 而烷烃(烯烃)的主要生烃高峰则集中在 400~450 °C 这一温度区间, 这反映了在热演化过程中基质镜质体内部结构中各种烃类物质裂解前后的变化规律。

4.3 基质镜质体在不同热模拟温度下的烃类组成特征

一般而言, 镜质体化学结构, 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。但在富氢镜质体结构中, 含有氢化芳香结构, 有生成液态烃的能力。由表 3、表 4、图 2 可以看出: (1) 基质镜质体热解烃量为 180.33mg/g, 其中液态烃 118.75mg/g, 岩石, 气态烃 61.58mg/g, 岩石; 液态烃中又以轻质烃(凝析油或轻质油)为主 102.75mg/g, 岩石(占总烃 57%), 中长链烃(重质烃)次之为 16.00mg/g, 岩石(占总烃 8.87%), 气态烃中以湿气为主 45.99mg/g, 岩石(占总烃 25.5%), 甲烷次之为 15.59mg/g, 岩石(8.65%)。此外, 烃类物质中含有大

表4 基质镜质体在不同温度下的烃类组成特征

温度/℃	C_1/C_{1+} 总烃	C_2-C_5/C_{1+} 总烃	C_6-C_{14}/C_{1+} 总烃	C_{15}/C_{1+} 总烃	烃类组成特征
200~370	0.23	3.11	82.71	13.96	轻质烃、重质烃
370~400	3.06	27.01	60.40	9.54	轻质烃、湿气
400~420	4.25	29.10	53.56	13.09	轻质烃、湿气
420~450	8.69	26.17	58.78	6.36	轻质烃、湿气
450~500	15.12	28.36	52.44	4.08	轻质烃、湿气
500~600	37.20	30.14	28.10	4.56	干气、湿气

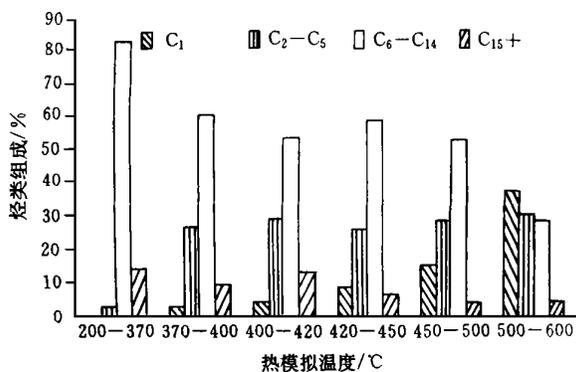


图2 基质镜质体在不同热模拟温度下的烃类组成特征

Fig. 2 The characteristics of hydrocarbon of desmocollinite in different temperature

量的烯烃,造成此结果的一个主要原因与开放体系热模拟有关,也就是所生成的大量的不饱和烃还没有来得及转化为饱和烃就已脱离反应体系;(2)热演化不同阶段烃类组成特征也明显不同,200~370℃基质镜质体烃类组成以轻质烃($C_6 \sim C_{14}$)占绝对优势;420~500℃仍以轻质烃为主,另外还含有大量的湿气,并且随热解温度的增加甲烷气所占比例也逐渐增大;500~600℃温度范围内,基质镜质体热解烃类组成中湿气、干气、轻质烃三者所占比例比较接近。

5 结论

通过上述对贵州水城晚二叠世含树皮体煤中基质镜质体的生烃潜力、烃类组成特征以及生烃规律的研究,可以得出如下几点认识:

(1) 贵州水城晚二叠世含树皮体煤中基质镜质体的生烃潜力、氢指数较高,分别为 191.6mg/g、250mg/g TOC, 小于树皮体 (297 mg/g、491 mg/g TOC), 而大于丝质体 (26.2mg/g、35mg/g TOC);

(2) 开放热模拟体系下基质镜质体的主要生烃温度区间为 400~450℃, 生烃高峰温度范围为 410~

430℃, 最大生烃率对应温度为 420℃。本区基质镜质体这种生烃模式与吐哈盆地基质镜质体不同,吐哈盆地基质镜质体生成液态烃的主要温度范围为 300~400℃(400℃对应的 VR_o 小于 0.80%), 具有生烃期早的特点, 而本区基质镜质体液态烃主要生烃温度区间为 400~450℃(对应的 VR_o 为 1.0%~1.5%), 具有在高成熟度下大量生烃的特点, 此特点对在成熟度普遍较高的华南地区寻找油气田具有重要的意义。

(3) 开放热模拟体系下基质镜质体热解产物中以轻质烃为主, 湿气次之, 其中轻质烃、重质烃、湿气、甲烷所占比例分别为 57.0%、8.9%、25.5%、8.6%。可见, 本区基质镜质体也是一种重要的生油组分。

(4) 基质镜质体热解产物中以烷烃(烯烃)为主, 此外还含有相当多的芳香烃, 其中苯+甲苯+二甲苯占热解烃总量的 8.41%。烷烃(烯烃)与芳烃的热演化模式不同, 芳烃在低演化阶段(200~370℃)和高演化阶段(500~600℃)分别出现两个峰值, 而烷烃(烯烃)的高峰期则出现在演化程度中等(410~430℃)阶段。

(5) 造成本区与其它地区基质镜质体生烃潜力与生烃模式不同的主要原因, 与其中所含超微类脂体的类型和含量有关。

致谢: 本文的部分测试得到石油勘探开发科学研究院测试中心 鄢立言、张振苓、马文玲高工帮助, 特此致谢!

参考文献

- 孙旭光, 秦胜飞, 金奎励. 贵州水城晚二叠世含树皮体煤成烃特性研究[J]. 地球化学, 28(6): 605~611
- Bertrand. Geochemical and petrographic characterization of humic coals considered as possible oil source rocks[J]. Org. Geochem., 1984, 6: 481~488
- Mukhopadhyay P K, Gomly J R, Zumberge J E. Generation of hydrocarbons from the Tertiary coals of Texas—Coals as potential source rock for liquid hydrocarbons in a tetaic basin[J]. Organic Geochemistry,

- 1989, 14: 351~362.
- 4 Mukhopadhyay P K, Gormly J R. Hydrocarbon potential of two types of resinite. In: Schenck P A et al. eds. *Advances in Organic Geochemistry*[C]. Pergamon, Press, Oxford, 1984. 439~454
 - 5 Smith G C, Cook A C. Petroleum occurrence in the Gippsland Basin and its relation to rank and organic matter type[J]. *APEA J.*, 1984, 24: 196~216
 - 6 Taylor G H, Liu S Y, Smith M. New light on the origin of Cooper basin oil[J]. *APEA Journal*, 1988, 28: 303~309
 - 7 Taylor G H. The electron microscopy of vitrinites coal sciences[C]. *Adv. Chem. Ser.*, 1966, 55: 274~283
 - 8 Taylor G H, Teichmuller M. Observation on fluorinite and fluorescent vitrinite with the transmission electron microscope[J]. *Inter. J. Coal Geol.*, 1992, 22: 61~82
 - 9 赵师庆, 王飞宇, 刘德汉等. 不同煤相煤和镜质组产烃性质的研究[A]. 中国科学院地球化学研究所有机地球化学开放室年报(1988)[C]. 北京: 科学出版社, 1990. 128~137
 - 10 王飞宇, 傅家谟, 刘德汉. 煤和烃源岩镜质体中超微类质体检出及意义[J]. *科学通报*, 1993, 38(2): 151~154
 - 11 于冰, 张井, 王大庆. 富氢镜质体超微结构与生油潜力的 TEM 研究[J]. *中国矿业大学学报*, 1998, 27(1): 95~98
 - 12 赵长毅, 金奎励等. 吐哈盆地煤中基质镜质体生烃潜力与特征[J]. *科学通报*, 1994, 39(21): 1979~1981
 - 13 赵长毅, 程克明, 王飞宇. 吐哈盆地煤成烃主要贡献组剖析[J]. *沉积学报*, 1997, 15(2): 95~99
 - 14 赵长毅, 程克明. 吐哈盆地煤及显微组分生烃模式[J]. *科学通报*, 1997, 42(19): 2102~2105
 - 15 程克明. 吐哈盆地油气生成[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 5~84
 - 16 刘德汉. 吐哈盆地及二连盆地侏罗系煤微类脂组分的共聚焦激光扫描显微镜(CLSM)研究及油气意义[J]. *地球化学*, 1996, 25(4): 309~329
 - 17 秦匡宗, 郭绍辉, 黄第藩等. 煤岩显微组分的化学结构与成烃潜力[J]. *石油大学学报*, 1995, 19(4): 87~94
 - 18 Xie K C, Zheng Y F, Li C Z et al. Pyrolysis characteristics of macerals separated from a single coal and their artificial mixture[J]. *Fuel*, 1991, 70: 474~479
 - 19 孙旭光, 李荣西, 杜美利. 煤显微组分分离富集[J]. *中国煤田地质*, 1997, 9(3): 26~27

Characteristics of Hydrocarbon Generation Potential, Hydrocarbon Composition and Hydrocarbon Generating-model of Desmocollinite from Late Permian Coals in Shuicheng, Guizhou Province

SUN Xu-guang¹ WANG Guan-yu¹ JIN Kui-li²

¹ (Department of Geology, Peking University, Beijing 100871)

²(Beijing Graduate School, China University of Mining and Technology, Beijing 100083)

Abstract

Desmocollinite is one of the major macerals of Late Permian Longtan Formation coals in Shuicheng, Guizhou Province, Southwest China. The characteristics of hydrocarbon-generation of desmocollinite are important to evaluate and explore oil and gas resources derive from coals. In this paper, Rock-eval, Py-GC and experimental simulation in an open-system were used to study hydrocarbon generation potential, hydrocarbon composition, hydrocarbon-generation model and thermoevolutional characteristics of desmocollinite. The results indicate that desmocollinite has high hydrocarbon generation potential, with (S_1+S_2) of 191.6mg/g, which is higher than that of fusinite (S_1+S_2 is 26.2mg/g), and lower than of barkinite (S_1+S_2 is 297mg/g); light hydrocarbon (C_6-C_{14}) and wet gas (C_2-C_5) are the main hydrocarbon composition; the "oil window" of desmocollinite is within 375~475 °C, the main temperature range of hydrocarbon generation is at 400~450 °C with a peak range of 410~430 °C, and the temperature of maximum hydrocarbon-generating rates is at 420 °C. These studies show that desmocollinite from barkinite-rich coal is one of oil-generated macerals, which is attributed to abundant submicro-liptinites in desmocollinite, and desmocollinite also can generate a large amount of hydrocarbon in higher mature degree, these hydrocarbon-generating model of desmocollinite is favorable for exploring oil and gas resources in South China.

Key words Guizhou Province desmocollinite hydrocarbon-generation potential hydrocarbon composition hydrocarbon-generation model