

富含于泥盆系角质残植煤中的四环二萜烷

盛国英 傅家谟 刘德汉

(中国科学院地球化学研究所, 广州)

陈小京 Simoneit B. R. T.

(美国俄勒冈大学海洋地质学院)

韩德馨

(中国矿业学院北京研究生部)

在一种泥盆系的角质残植煤中, 检测出丰富的具扁枝烯和贝壳杉烯骨架的四环二萜化合物, 其生源物可能是某些蕨类植物或是无环类异戊间二烯烷烃类被细菌改造的结果。

关键词 角质残植煤 贝叶烷 扁枝烷

第一作者简介 盛国英 女 55岁 研究员 有机地球化学

石油地质学家与有机地球化学家已经研究证实, 煤不但是天然气的重要源岩, 也是形成石油的源岩。煤成油的典型例子有, 加拿大麦克肯齐油田^[1], 澳大利亚吉普斯兰德盆地的一些油田^[2], 以及印度尼西亚马哈卡姆三角洲油田等^[3]。近几年来, 以研究判识煤成油为目的, 广泛开展了一些富氢特种煤的有机地球化学研究, 特别是煤中生物标志物的研究。研究结果表明, 煤中具有较为丰富的陆源萜烷类标志物, 尤其是倍半萜、二萜类和三萜类。Noble 等^[4,5,6]报道了澳大利亚吉普斯兰德盆地褐煤和原油中富含具扁枝烯和贝壳杉烯骨架的四环二萜烷。我国一些富氢特种煤中也具有较为丰富的二萜烯、二萜烷^[7,8,9], 但检出的二萜烷主要是具松香酸和海松酸骨架的三环二萜烷^[10,11]; 具扁枝烯和贝壳杉烯骨架的四环二萜烷则很少见有报道。本文重点报道作者在云南泥盆纪禄劝地区角质残植煤中检出的四环二萜烷化合物, 并探讨其可能的地球化学意义。

(一) 样品及其基本参数

三个泥盆系煤样采自云南禄劝地区。禄劝地区在中泥盆世吉维特时期沉积了一套以紫色、灰紫色泥岩、页岩、灰绿色粉砂岩为主的碎屑岩沉积物, 中部含数十公分厚的薄煤层。研究的三个样品(表1, 931, 932和934)即采自该煤层。

煤岩学研究表明, 931样品以腐泥基质为主, 含极微粒状碳酸盐和少量石英等分散矿物, 也夹少量小透镜状镜质体, 基质具有较强的荧光区光变现象。932样为含大量细壁角质体组成的残植煤, 类似I蕨科的残体, 基质主要是透明凝胶化基质即基质镜质体。样品934含矿物质较高, 属含角质体很高的叶片状角质体残植煤。三个样品测得的镜煤反射率分别为0.55%、

0.55%和0.58% (表1), 即有机质的成熟度相似, 属低变质程度的烟煤^{[12]*}。

(二) 有机质类型

表1列出了禄劝三煤样的元素组成, 由表可见, 这种煤有机碳含量不高, 具有富氢的特点。根据H/C和O/C原子比值划分其有机质类型(图1), 三个样品均属于Ⅰ型干酪根, 样品931和932与贵州水城藻煤(图1中9)的有机质类型相当, 属于腐泥-腐殖混合型。而934的氢含量较低, 但因其碳、氧含量亦低, 故落在Ⅰ型干酪根的较高演化区(图1)。

表1 禄劝角质残植煤的元素组成及反射率

样品编号	元素组成 (%)				H/C	O/C	R ^a (%)
	C	H	N	O			
931	68.43	7.12	0.57	6.17	1.25	0.07	0.55
932	76.97	8.81	0.32	6.80	1.37	0.07	0.55
934	67.68	4.96	0.51	4.76	0.88	0.05	0.58

(三) 生物标志物研究

样品经去污、粉碎至<80目, 分别采用两种方法抽提: (1) 苯: 甲醇(1:1)索氏抽提; (2) 二氯甲烷超声抽提。分别将抽提物脱硫、脱沥青质, 并经硅胶柱层析, 分离成烷烃、芳烃和非烃馏分。本文主要研究烷烃馏分中的生物标志物。样品分别在中国科学院地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室和美国奥勒冈大学海洋系有机地球化学实验室进行研究。

1. 气相色谱分析

(1) 日本岛津公司产GC-9A仪, 0.25 mm×50 m, 内涂SE54硅毛细管柱, 程序升温80—290℃, 4℃/min, 氢气作载气。

(2) 美国Hewlett-Packard型5840AGC仪, 0.2 mm×25 m, 内涂DB5硅毛细管柱, 65—300℃, 4℃/min。

2. 色谱-质谱分析

(1) Finnigan-MAT4515型C-GC-MS仪, 25 m×0.25 mm, 内涂SE54硅毛细管柱, 80—290℃, 4℃/min, 电子轰击源, 离子电流250μA, 电子能量70eV。

(2) Finnigan 9610型C-GC-MS仪, 0.25 mm×30 m, 内涂DB5硅毛细管柱, 35—280℃, 4℃/min, 280℃恒温60—120min, 其它条件同(1)。

3. 化合物鉴定

主要通过质谱棒状图以及相对保留时间(Kovats值), 在不同仪器及柱子条件下对比确认

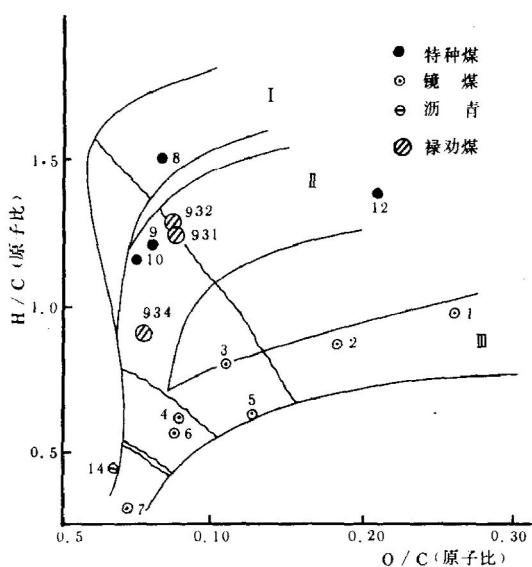


图1 禄劝角质残植煤及其它类型煤的有机质类型

* 韩德馨, 云南东部中泥盆统煤层的沉积环境与地球化学特征, 1988。

的。由于没有合成标样,有些化合物尚待 C-GC-MS-MS 和标样共注等方式进一步研究确认。

(四) 结果

三个煤样烷烃气相色谱图与色谱-质谱研究证实,采用两种不同溶剂和不同抽提方法所获烷烃馏分具有相似的标志物组成与分布,完全可对比。

烷烃 RIC 图表明(图 2), 931 和 932 具有十分相似的总离子流图(图 2a, b), 其特点为正烷烃丰度极低, 图上有一突出的组峰, 主峰碳为具基峰 m/z 123, M^+ 为 260 的四环二萜烷。样品 934 RIC 图具双峰型正烷烃分布, 主峰亦为上述四环二萜烷。

1. 正烷烃

931 和 932 样品的 m/z 85 图(图 3a, b) 表明, 样品中均具有完整系列的正烷烃分布, 其碳数范围及有关参数见表 2。由图 3 与图 2 (c) 对比可见, 931 和 934 具有双峰型正烷烃分布, 主峰碳 $C_{16} > C_{25}$, 在高碳数部分显示出奇偶优势, CPI 为 1.08 和 1.10, OEP 为 1.29 和 1.53, C_{20}^-/C_{21}^+ 均显示出藻类、细菌等低等生物, 以及高等植物蜡贡献的混合型物源输入的特征。样品 932 正烷烃中的低分子化合物丰度较低。 C_{20}^-/C_{21}^+ 仅为 0.43, 高碳数部分具明显奇偶优势, CPI 值最高 (1.96)。显示出高等植物蜡的贡献更多一些。

2. 类异戊二烯烷烃

烷烃的 RIC 及 m/z 183 质量色谱图均表明, 样品 931 和 932 不含任何无环类异戊二烯烷烃化合物。只有 934 样中有姥鲛烷和植烷, 但相对丰度较低, 具姥鲛烷优势 (Pr/Ph 为 1.79), Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 分别为 0.25 和 0.11。未检出其它无环类异戊二烯化合物。这种姥鲛烷和植烷缺失或含量低的现象在一般煤样

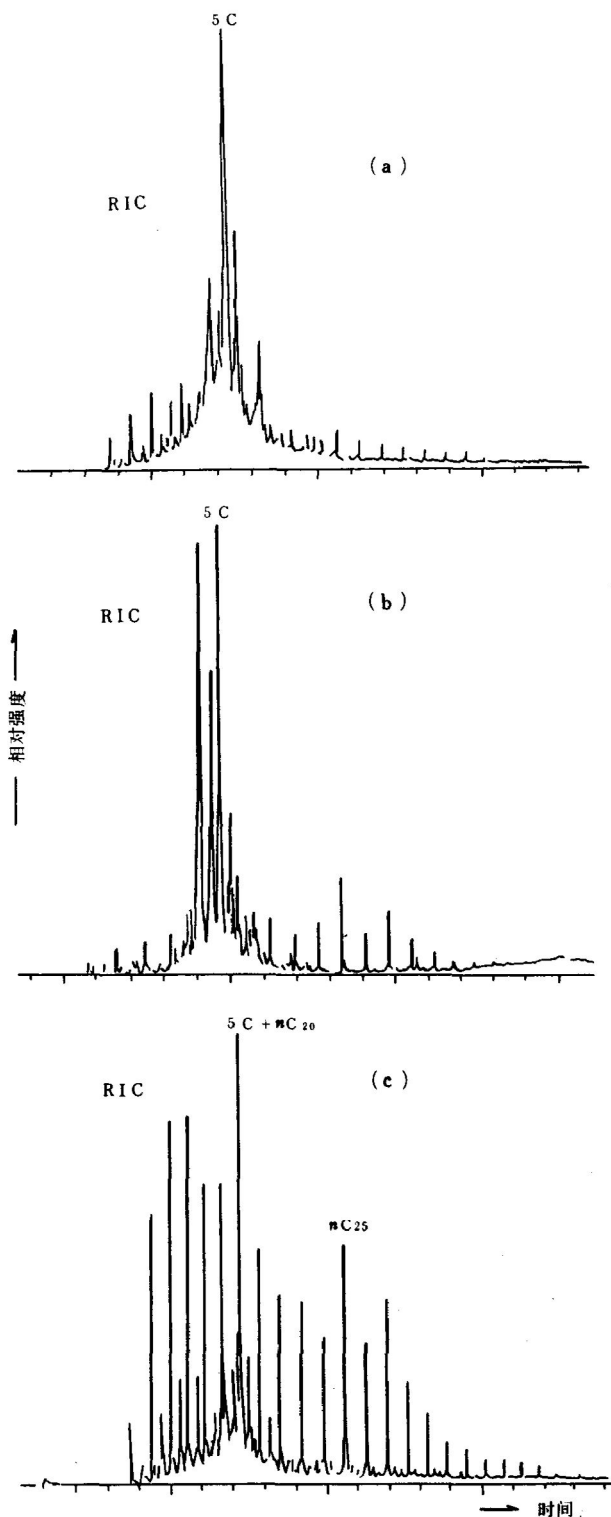
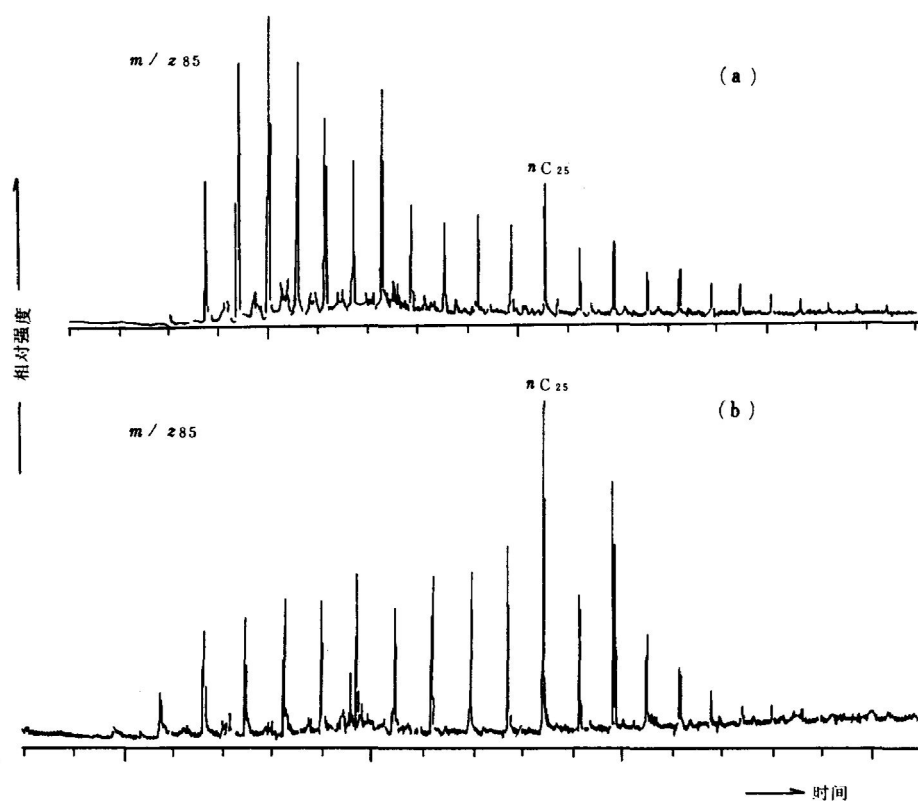


图 2 禄劝角质残植煤的烷烃 RIC 图

(a) — 931, (b) — 932, (c) — 934

图3 禄劝煤 m/z 85 质量色谱图

(a) —931, (b) —932

表2 禄劝角质残植煤正烷烃参数

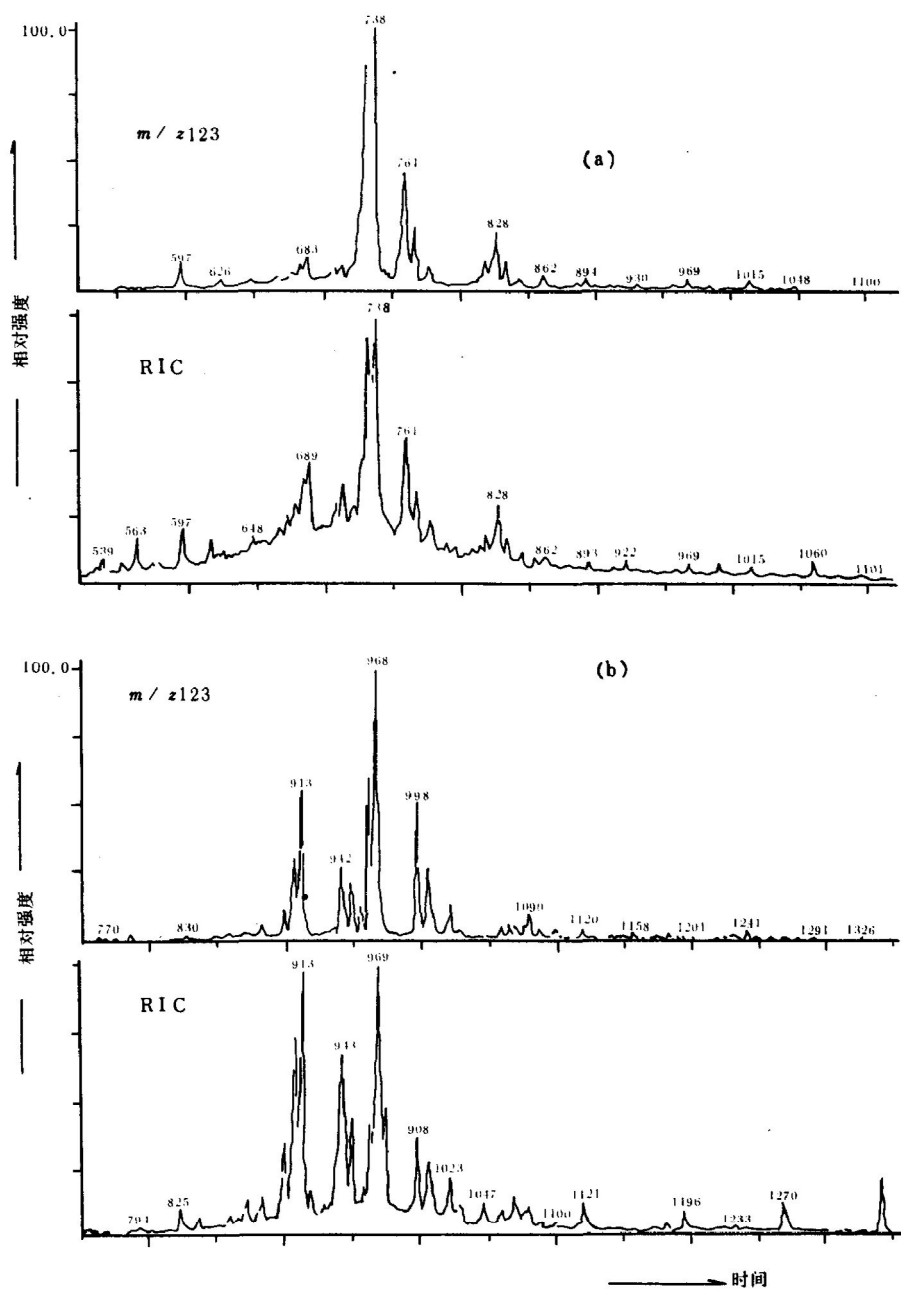
样品编号	碳数范围	主峰碳	奇偶优势范围	CPI	OEP	C_{20^-}/C_{21}^+
931	$C_{14}-C_{36}$	$C_{16} > C_{26}$	$C_{21}-C_{27}$	1.08	1.29	1.65
932	$C_{14}-C_{36}$	C_{26}	$C_{26}-C_{27}$	1.96	1.88	0.43
934	$C_{14}-C_{36}$	$C_{16} > C_{26}$	$C_{25}-C_{27}$	1.10	1.53	1.25

中是很少见的。

3. 萜烷类

极其丰富的四环二萜烷：三个煤样的 m/z 123 质量色谱图及其鉴定结果表明，样品中均存在极其丰富的四环二萜烷，样品 931 和 932 的 m/z 123 质量色谱图与 RIC 图十分相似（图 4a, b），样品 934 的 m/z 123 质量色谱图与 931、932 亦很相似（图 5a, b, c）。

作者对样品 m/z 123 质量色谱图中的主要化合物进行了初步鉴定。鉴定结果分别列于图 5 与表 3。表 3 给出了所鉴定化合物的分子式、分子量、基峰及其关键离子、Kovats 值，以及可能的结构鉴定依据。由表 3 与图 5 可见，样品中除检出了个别三环二萜烷（ $C_{17}H_{30}$ ，峰 1）外，其余的化合物均满足于分子式 C_nH_{2n-8} ，即符合于四环二萜烷类化合物。所检出的化合物中有三个化合物具 m/z 231 基峰（表 3，图 5，2a, 2b, 3），两个化合物具 m/z 245 基峰（表 3，图 5，4a, 4b），可能为四环二萜烷或四环二萜烯。除上述化合物外，在三个样品的 m/z 123 质量

图4 禄劝煤中 m/z 123 质量色谱图与 RIC 图对比

(a) —931, (b) —932

色谱图中,具 m/z 123 基峰的化合物均符合于 $M^+ = 260 + 14n$, 构成分子量从 260 至 330 的系列性化合物,包括 17-降四环二萜烷(表 3, 图 5, 5a—d)。在 934 样中检出了贝叶烷(表 3, 图 5、6),贝叶烷与 Noble 等在澳大利亚原油及沉积物中检出的质谱图十分相似。作者将图 5 中 7a、7b 峰定为 $16\beta(H)$ -扁枝烷和 $16\alpha(H)$ -扁枝烷的依据是:两个化合物的质谱棒状图中均具有扁枝烷及贝壳杉烷所具有的特征碎片峰(m/z 189, m/z 231 和 m/z 259),以及 M^+ 均为

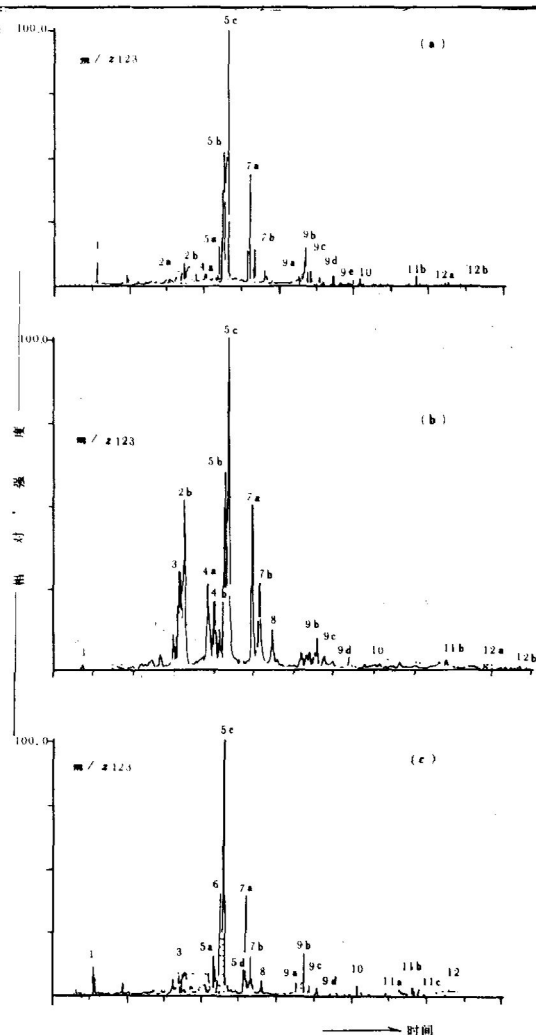


图5 禄劝煤中的四环二萜烷分布 (m/z 123 质量色谱图)

(a) —931, (b) —923, (c) —934 峰号与表3对应

特征碎片判识, 很可能仍属四环二萜烷或三环二萜烯 (表3)。同时还在样品 931 和 932 检出了基峰为 m/z 123, M^+ 344 至 M^+ 484 的化合物, 即 $C_{25}H_{44}$, $C_{26}H_{46}$ …… $C_{35}H_{64}$ 的系列化合物。这类化合物的相对强度较弱, 经初步核对, 它们的质谱图中不具芒柄花根烷所具有的 m/z 191 和 193 特征碎片峰。在个别化合物中检出了 8, 14-断萜烷所具的 m/z 371 特征碎片。该系列化合物中的每个化合物均检出有 2 至 4 个不等的异构体。

藿烷类化合物: 样品中除 934 具完整系列的藿烷类化合物外, 931 中只检出了相对强度较弱的 $C_{30}\alpha\beta$ 藿烷, 932 样中未发现任何藿烷类化合物。样品 934 中的藿烷类化合物具一般煤中所具有的分布特征, 即高 Tm, 低 Ts/Tm (0.15), $C_{29}\alpha\beta$ 藿烷为 m/z 191 质量色谱图中的主峰, $C_{29}\alpha\beta/C_{30}\alpha\beta$ 为 1.07, $C_{32}22S/22(S+R)$ 为 0.57, 已接近于升藿烷立体异构化平衡值 (图6)。

(五) 讨论

1. 禄劝煤的有机质类型

所有样品的正烷烃均具双峰型分布, 低碳数部分的主峰为 nC_{16} ; nC_{16} 和 nC_{17} 化合物丰度高, 高碳数部分的主峰出现在 nC_{25} 和 nC_{27} , 不像典型高等植物形成的褐煤所具奇偶优势分布特征

274。根据 Noble 等报道^[4,5,6], 判识扁枝烷及贝壳杉烷质谱图的主要方法有两种, 一是用 m/z 231/259 比值, 扁枝烷大于贝壳杉烷, 扁枝烷的比值约为 0.50, 贝壳杉烷 < 0.35 ; 另一判识法是采用碎片离子 m/z 259/274 值, 贝壳杉烷的 259/274 应大于 1.2。按照上述判识法, 计算了图 5 中 7a 和 7b 峰的质谱图中 259/274 值, 发现两个化合物均小于 1.20, 而 231/259 均小于 0.35, 这与 Noble 的检验方式有矛盾。很可能是本文所用质谱条件不同所致。按照 Kovats 值及谱图对比推算, 将图 5 的 7a、7b 峰暂定为 $16\beta(H)$ -扁枝烷和 $16\alpha(H)$ -扁枝烷。三个样品均含有这两种化合物, 分别用 BD5 毛细柱和 SE54 毛细柱在不同实验室测得的 Kovats 值完全可对比。值得注意的是, 三个样品中均检出了基峰为 m/z 123, M^+ 为 288、302、316 和 330, 即 $C_{21}H_{36}$, $C_{22}H_{38}$, $C_{23}H_{40}$, $C_{24}H_{42}$ 的化合物 (表 3、图 5 中的 9a—e, 10, 11a—c, 12), 根据这些化合物的

表3 禄劝角质残植煤烷烃组分中二萜类化合物

峰号 ⁺	化合物	分子式	分子量	基峰 (<i>m/z</i>)	关键离子 (<i>m/z</i>)	Kovats ⁺⁺ 值	可能的结构(图7) 及参考文献
1	二萜烷	C ₁₇ H ₃₀	234	121	149, 219	1759 (931) ⁺ ; 1753 (932) ⁺ ; 1758(934) ⁺	
2a, b	四环二萜烷	C ₁₈ H ₃₀	246	231	109, 149, 175	1907 (931); 1916 (931); 1918(932); 1914(934)	
3	四环二萜烷	C ₁₉ H ₃₂	260	231	109, 189, 245	1911(932); 1910(934)	(I)
4a, b	四环二萜烷或二萜烯	C ₁₉ H ₃₂	260	245	81, 109, 163, 217	1957 (931); 1958 (932); 1968(932); 1966(934)	
5a—d	17-降四环二萜烷	C ₁₉ H ₃₂	260	123	175, 231, 245	1977 (931); 1985 (931); 1992 (931); 1977 (932); 1985 (932); 1993 (932); 1975 (934); 1991 (934); 1996(934)	(I) Noble et al. (1986a, b) ^[5,6]
6	贝叶烷 (beyerane)	C ₂₀ H ₃₄	274	123	189, 245, 259	1986(934)	(II) Noble et al. (1986a, b) ^[5,6]
7a, b	16 β (H)-扁枝烷 16 α (H)-扁枝烷	C ₂₀ H ₃₄	274	123	189, 231, 259	2033 (931); 2045 (931); 2035 (932); 2047 (932); 2032(934); 2043(934)	(N) Noble et al. (1986a, b) ^[5,6]
8	四环二萜烷	C ₂₀ H ₃₄	274	123	217, 259	2063(934)	
9a—c	四环二萜烷	C ₂₁ H ₃₆	288	123	91, 203, 259, 273	2129 (931); 2142 (931); 2153 (931); 2167 (931); 2194 (931); 2146 (932); 2155 (932); 2166 (932); 2128 (934); 2139 (934); 2151(934); 2166(934)	
10	四环二萜烷或二萜烯	C ₂₂ H ₃₈	302	123	69, 94, 109, 123, 287	2246 (931); 2250 (932); 2244(934)	
11a—c	四环二萜烷或二萜烯	C ₂₃ H ₄₀	316	123	94(?), 123, 231	2359 (931); 2361 (932); 2345 (934); 2359 (934); 2366(934)	
12	四环二萜烷或二萜烯	C ₂₄ H ₄₂	330	123	94(?), 231	2426 (931); 2475 (931); 2475 (932); 2429 (932); 2426(934)	

* 931, 932 和 934 为样品号, ++. Kovats 值, GC 条件见文中实验部分, +. 见图

那样主峰在 nC_{29} 或 nC_{31} 。样品 932 中正烷烃的低碳数化合物较少; 样品中都检出有树脂体来源的特征化合物——扁枝烷等四环二萜烷。根据样品正烷烃的 CPI 值, C_{20}^-/C_{21}^+ 比及其分布特征鉴别, 样品 931 和 934 属于细菌或藻类, 以及高等植物有机质都有贡献的腐泥-腐殖型有机质, 可能偏腐泥型。样品 932 似乎主要由高等植物有机质贡献的。上述研究结果与根据样品 H/C 与 O/C 原子比划分的有机类型(图 1), 以及煤岩镜下观察结果相一致, 如 932 样品中找到大量 I 蕨科类植物残体的事实与正烷烃分布特征也是相符的。至于样品 931 和 934 的偏腐泥型, 是否有可能是高等植物被细菌或微生物改造所致, 目前尚未找到充分证据。

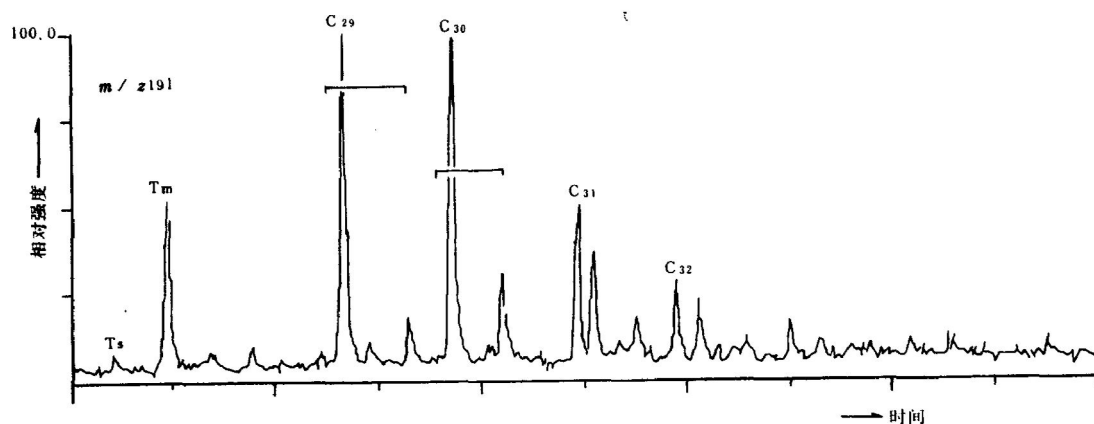
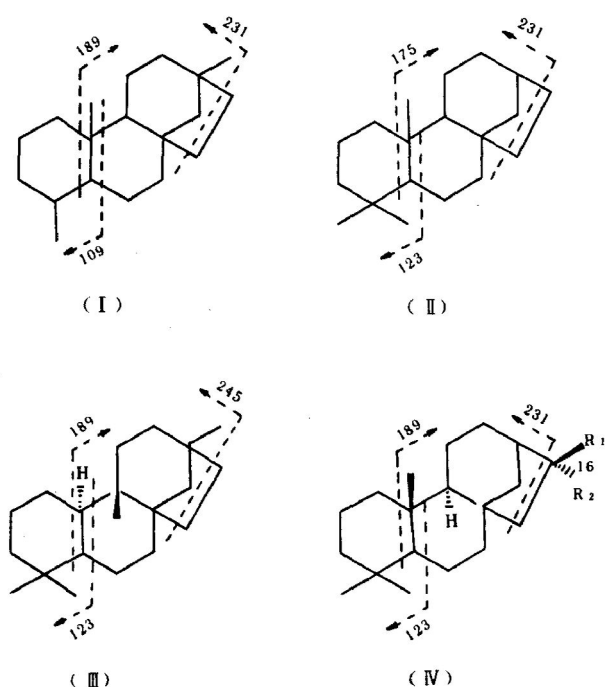
图6 934样品的 m/z 191 质量色谱图

图7 四环二萜的分子结构图

a— $R_1=H$, $R_2=C_{13}$; b— $R_1=CH_3$, $R_2=H$

2. 烷烃生物标志物的异常分布

禄劝残植煤两个样品(931, 932)的烷烃特征为: 正烷烃相对丰度低, 未检出生环类异戊二烯、甾烷和藿烷类等常见生物标志化合物。烷烃总离子流图的主峰是四环二萜烷, 而不是正烷烃或姥鲛烷。十分特征的是它们的 RIC 图与 m/z 123 质量色谱图非常相似(图4), 而且 m/z 123 质量色谱图中的主要成分均为四环二萜烷或三环二萜烯化合物。这种奇特的烷烃生物标志物组合在煤中检出是极其罕见的。这也是迄今我国研究者所报道的含 17-降四环二萜烷、扁枝烷等四环二萜烷最丰富的样品。Noble 等^[4,5,6]在澳大利亚原油及各种褐煤、油页岩中发现了扁枝烷、贝壳杉烷及其对映体, 但都没有像禄劝煤中那样富集四环二萜烷。值得注意的是, 最近 Brukenr-Wein 等^[13]报道了匈牙利渐新世薄煤层及其上覆的含粘土泥灰岩及硅质岩中

检出了高丰度的 $16\beta(H)$ -和 $16\alpha(H)$ -扁枝烷, 样品的有机质为 III 型干酪根。Hetenyi 和 Sajga (1990)* 也在匈牙利低品位褐煤中检出了极其丰富的 $16\beta(H)$ 与 $16\alpha(H)$ -扁枝烷。上述结果表明, 异常富含扁枝烷等四环二萜烷的样品主要存在于煤及煤系地层。

3. 关于四环二萜烷的生物输入源

扁枝烯和贝壳杉烯最早都是从扁枝类和贝壳杉针叶树中分离获得的^[14]。扁枝烷等饱和烃

* Hetenyi M., Sajga Cs., Hydrocarbon generation potential of some Hungarian low-rank coals, 1990 (in press).

化合物则检出于裸子植物发育的中生代至新生代样品中,因而认为这些化合物来自针叶树的花粉、树脂等的解释是合理的。本文首次报道扁枝烷等四环二萜烷富集于泥盆纪禄劝煤中。古植物研究^{*}表明,云南地区泥盆纪发育的植物,主要为蕨类植物门的裸蕨纲、石松纲等矮小植物,当时尚未出现裸子植物,因而这些四环二萜烷不可能来自针叶树的花粉或树脂体。唯一能够解释的输入源可能是细菌或微生物,如真菌类,或者像具有与四环二萜烷类似结构的生物合成物——赤霉素等。近年来的研究表明,我国富含树脂体的沉积物,一般不富含四环二萜烷,例如几乎全由树脂体组成的抚顺树脂煤,含树脂体8.4—9.1%的广西百色褐煤^{**}中检出的二萜烷主要都是具松香酸和海松酸骨架的化合物。扁枝烷等四环二萜烷只检出于抚顺树脂煤中,含量极低^[15]。这说明我国煤中扁枝烷等四环二萜烷的主要来源不一定是树脂体。

至于我国最早的腐殖煤——禄劝煤中富含的四环二萜烷的来源问题,作者认为其可能性为:(1)我国蕨类植物(特别是泥盆纪时云南禄劝地区)中亦富含扁枝烯、贝壳杉烯等特殊生物前身物。(2)存在生物合成扁枝烷等四环二萜烷的细菌和藻类。在此应该引起重视的是富含四环二萜烷的样品中,姥鲛烷和植烷含量极低或未检出(931、932)。匈牙利富含扁枝烷的样品中Pr/Ph、Pr/ n C₁₇和Ph/ n C₁₈值也均相当低^[13]。作者认为高含量的四环二萜烷与低含量的姥鲛烷与植烷之间可能存在着尚未揭示的联系。禄劝煤中最丰富的四环二萜烷是C₁₉H₃₂,其次是C₂₀H₃₄(表3,图5),而缺乏姥鲛烷与植烷,上述事实不难联想起姥鲛烷和植烷有无可能是四环二萜烷的前身物?是否存在着特种细菌或微生物将无环类异戊二烯化合物环化为四环二萜烷,这需要今后进一步研究证实。

4. C₂₂—C₃₅未知化合物

所有样品中均检出了具 m/z 123基峰、满足于C_nH_{2n-6}分子式的系列化合物,这些化合物究竟都是四环二萜烷,或三环二萜烯,还是8,14-断藿烷系列化合物,或是甾烷、藿烷类化合物的地质转化产物,需要详细研究。从样品934中检出了完整系列的藿烷在931和932中未检出,而在931和932中又检出了C₂₇—C₃₅的系列化合物及其异构体。从上述未知化合物的质谱图及分布判别,可能其中有些化合物是8,14-断藿烷。只因这些化合物的相对强度较弱,暂时不能确认。

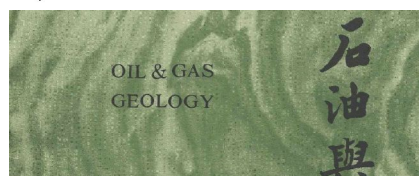
泥盆系禄劝煤中特别富含四环二萜烷的异常分布,而这种四环二萜烷通常被认为是高等植物树脂来源的,这与产生于泥盆系的古植物类型不相符。这样丰富的四环二萜烷究竟是由于原始有机质本身所特有的,还是由于沉积环境不同,或受到微生物和细菌的生物合成改造的问题,作者认为今后应开展有机岩相、古生物以及有机质的实验模拟研究,以进一步追索其四环二萜烷的成因途径或特殊生物源。

参 考 文 献

- [1] Snowdon L. R., Powell T. G., *Bull. AAPG*, 1982, 66 (6): 775—788.
- [2] Thomas B. M. *APEA Journal*, 1981, 22: 545—563.

* 杨关秀,古植物图册,1985:135—227.

** 蒋基平,百色盆地百岗组煤岩的有机地球化学研究——树脂体的类型与其烃类产物之间的关系初探。江汉石油学院有机地球化学文集5,1989.



- [3] Durand B., Paratte M., In: Brooks ed., *Petroleum Geochemistry and Exploration of Europe*, Geological Society Special Publication 12, Oxford, England, Blackwell, 1983; 255—265.
- [4] Noble R., Kaox J., Alexander R et al. *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, 1985; 32—33.
- [5] Noble R., Alexander R., Kagi R. I. et al., *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1986a; 49; 2141—2147.
- [6] Noble R., Alexander R., Kagi R. I. et al., In: Leythaeuser D., Rullkötter J. eds, *Advances in Organic Geochemistry 1985; 1986b*, 825—829.
- [7] 傅家谟、盛国英、刘德汉, 中国科学院有机地球化学开放研究实验室年报 (1986), 贵州人民出版社, 1987; 32—49.
- [8] Fu Jiamo, Sheng Guoying, Liu Dehan et al., *Geochemistry Sinica*, 1987; 289—296.
- [9] 王铁冠, Simoneit B. R. T., Philp R. P. 等, 河北卢龙煤中的长链 $8\beta(H)$ -补身烷及 8, 14-断藿烷系列, 中国地质大学出版社, 1989; 25—34.
- [10] Simoneit B. R. T. In: Johns R. B., ed. *Biological markers in the sedimentary record, methods in geochemistry and geophysics* Elsevier, Amsterdam, 1986; 24; 43—99.
- [11] Wang T. G., Simoneit B. R. T. *Fuel*, 1990; 69; 12—20.
- [12] 韩德馨, 煤炭学报, 1964; 1 (1).
- [13] Wein A. B., Hetenyi M., Veto I., *Org. Geochem.*, 1990; 15 (2); 123—130.
- [14] 龙康侯等, 萜类化学, 1985; 215—233.
- [15] 傅家谟、徐世平、盛国英等, 中国科学院有机地球化学开放研究实验室年报 (1988), 科学出版, 1989; 3—22.

TETRACYCLIC DITERPANES ENRICHED IN DEVONIAN CUTINITE COAL

Sheng Guoying Fu Jiamo Liu Dehan

(Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou)

Chen Xiaojing Simoneit B. R. T.

(School of Marine Geology, University of Oregon, U. S. A.)

Han Dexin

(Graduate School of China Mining Institute)

Abstract

The analysis of coal-petrology and geochemistry were carried out for Devonian cutinite coal in Luquan Region, Yunnan, so that abundant tetracyclic diterpanoid with the skeletons of phyllocladene and kaurene were determined, but the contents of pristane and phytane were very little or nothing. According to paleoplant study, the coal-forming materials were mainly the short plants of Psilopsid and Lycoposida. It is inferred that the tetracyclic diterpanes were not derived from the resinites which were considered from gymnospermous, but may derived from pteridophytes or non-cyclic isoprenoid alkanes that were reformed by bacteria. This will be further studied in thermo-simulation of organic matter.