

# 昆明盆地参3孔晚新生代沉积物中 甾、萜类生物标志化合物的初步研究

宋振亚 贝丰

(成都地质学院)

本文为昆明盆地新生代沉积有机质研究的一部分。着重讨论参3孔晚新生代沉积物中甾类、萜类生物标志化合物的组成、构型和分布，进而分析这些特征与沉积物类型及埋藏深度等之间的关系。通过这些研究，对于探讨内陆淡水湖盆沉积有机质中生物标志化合物的特征和早期演化、陆相沉积有机质的生源物性质与特征、再现内陆淡水湖盆沉积有机质的成烃模式，无疑是有重要意义的。

## 一、盆地的地质概况与沉积有机质的基本特征

昆明盆地位于云南省中部，系喜山期形成的山间断裂盆地。东西宽约20公里，南北长约60公里，盆地四周为中生代至古生代地层出露，并组成盆地基底，盆内为未固结的晚新生代沉积物所覆盖。滇池位于盆地的中偏西部，为盆内至今最大的地表水体。参3孔位于滇池东北侧离湖岸约5公里处(图1)。

盆地晚新生代沉积物属于三角洲和河、湖环境沉积。据参3孔钻孔揭示，晚新生界沉积厚度为516米，底部与寒武世沧浪铺组呈不整合接触，沉积物类型主要为砂、粉砂、粉砂泥、泥、炭泥、草煤及软褐煤等。岩心中见到大量螺、蚌和介等水生生物遗骸，并遍含炭化植物碎屑，偶见木本植物叶片、木质结构残迹。沉积层中的软褐煤是沼泽的产物。参3孔沉积物的特征表明，晚新生代早期是河流泛滥作用为主的泛滥平原，中期是湖积体系为主的伴随间断短暂抬升的三角洲平

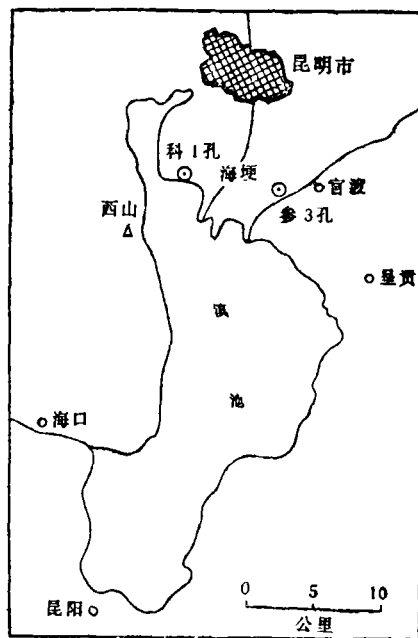


图1 参3孔孔位图

原、河口砂坝混合环境，晚期则为较典型的三角洲环境。

据37个样品分析资料统计，该沉积物有机质丰度较高，有机碳平均含量为2.2%，最高含量为7.4%；有机质类型主要是腐殖型和腐泥-腐殖型，只有在湖积体系层段才出现少数腐泥型母质；有机质的热演化程度很低，非烃和沥青质组份占可溶有机质的70%以上，烃转化率在1%以下，正烷烃主峰为C<sub>29</sub>（或C<sub>27</sub>、C<sub>31</sub>），OEP值大于4，干酪根镜质体反射率为0.22—0.29%。

## 二、样品及实验

样品是在钻井过程中采集的，取样时去掉了岩心表面的可能污染物，并立即冷冻保存。生物标志化合物研究的11个样品的有关基础地质背景列于表1。

表1 参3孔样品基础地质背景一览表

样号	样品类别	时代	深度	沉积相带	含生物特征
Zk <sub>2</sub> (NO1)	灰黑色淤泥	Q <sub>4</sub>	8—10	(滇池湖底淤泥)	含有丰害有机质，具较多生物碎屑
Zk <sub>2</sub> (NO2)	灰黑色淤泥	Q <sub>4</sub>	20.05	(滇池湖底淤泥)	含有丰害有机质，有较多水生生物碎屑
P <sub>30γ-8</sub>	橄黑色泥	Q <sub>3</sub>	69.60	滨湖(湖湾)	有机质丰富，含螺、蚌、介化石
P <sub>30γ-9</sub>	炭泥	Q <sub>3</sub>	75.55	三角洲前缘(分流沼泽)	含有螺、蚌及水生植物残屑具有泥根泥
P <sub>30γ-14</sub>	泥炭	Q <sub>2</sub>	128.75	滨湖(湖滩)	常见植物根迹，植物碎屑
P <sub>30γ-24</sub>	炭泥	Q <sub>1</sub>	275.75	滨湖(湖湾?)	有机质丰富含植物水生生物碎屑
P <sub>30γ-25</sub>	褐灰色泥	Q <sub>1</sub>	284.80	浅湖	含螺、介化石，虫迹发育
P <sub>30γ-34</sub>	灰黑色泥	Q <sub>1</sub>	358.50	三角洲(分流间湾)	有机质丰富，含螺、蚌及水生植物残体
P <sub>30γ-37</sub>	灰黑色泥	Q <sub>1</sub>	388.00	滨湖(湖湾)	有机质丰富、含较多蚌、螺、介化石
P <sub>30γ-49</sub>	褐灰色泥	N	468.50	三角洲(分流间湾)	含水生生物残体、具直立根泥，含菱角化石
P <sub>30γ-52</sub>	褐煤	N	491.65	三角洲(分流沼泽)	含炭化植物碎屑

样品用提纯过的氯仿进行抽提，抽提物用正己烷沉淀沥青质后，在硅胶-氧化铝色层柱上进行族组份分离，对用正己烷冲洗下来的烷烃组份进行GC-MS分析。

GC-MS分析在JMS-D3000进行，数据处理系统为JMA-2000。

根据m/e191、215、217、231等质量色谱图和有关质谱图，鉴定了甾烯、甾烷、萜烷等系列化合物。

## 三、结果与讨论

### 1. 甾烷类

参3孔的样品中(包括Zk<sub>2</sub>浅孔的两个滇池湖底淤泥样品，下同)，已检出甾烷

类化合物十多种，其中确认定名的有10种。图2是部分样品的 $m/e$ 217质量色谱图，它显示了昆明盆地参3孔晚新生代沉积物中甾烷类化合物的组成、构型和分布的基本面貌。表2是图2各色谱峰的鉴定命名表，表3是甾烷类化合物的有关参数表。

在已检出的甾烷类中，从5、14、17碳位的构型来看，主要有 $C_{27}-C_{29}$ 的 $5\alpha(H)$ ， $14\alpha(H)$ ， $17\alpha(H)$ 胆甾烷系列( $\alpha\alpha\alpha$ 胆甾烷系列)和 $C_{27}-C_{29}$ 的 $5\beta(H)$ ， $14\alpha(H)$ ， $17\alpha(H)$ 类甾烷系列( $\beta\alpha\alpha$ 类甾烷系列)。在20碳位上， $\alpha\alpha\alpha$ 胆甾烷系列存在着R和S两种构型， $\beta\alpha\alpha$ 类甾烷系列只有R构型。此外，全部样品均检出了4-甲基-胆甾烷系列，个别样品中还有孕甾烷( $C_{21}H_{38}$ )。

参3孔样品中，未检出重排甾烷，同时， $5\alpha(H)$ ， $14\beta(H)$ ， $17\beta(H)$ 异胆甾烷系列( $\alpha\beta\beta$ 异胆甾烷系列)也基本缺失。

检出的甾烷类化合物，以 $5\alpha(H)$ ， $14\alpha(H)$ ， $17\alpha(H)$ -20R胆甾烷系列化合物的相对含量最高，占全部甾烷的50%以上。其中P<sub>3</sub>or-9样品可高达95.74%， $\alpha\alpha\alpha R-C_{27}/\Sigma C_{27}$ 、 $\alpha\alpha\alpha R-C_{29}/\Sigma C_{29}$ 一般大于0.5， $5\alpha(H)$ ， $14\alpha(H)$ ， $17\alpha(H)$ -20S胆甾烷系列也占有一定的比例(表3)。

参3孔样品中甾烷类化合物的组成及构型，与一般生油岩和原油中的特征明显不同。生油岩和原油中， $\alpha\beta\beta$ 异胆甾烷系列往往是甾烷主要的成分，且重排甾烷系列也普遍存在，而 $5\alpha(H)$ ， $14\alpha(H)$ ， $17\alpha(H)$ -20R胆甾烷化合物则常常是很次要的成分。

已经查明，沉积物中的 $C_{27}-C_{29}$ ， $5\alpha(H)$ ， $14\alpha(H)$ ， $17\alpha(H)$ -20R胆甾烷系列，随着埋藏深度(温度)的增加，由于热演化作用，它的20R构型要部分地转化为20S构型，逐渐达到S、R构型等量混合的程度。同时， $5\alpha(H)$ ， $14\alpha(H)$ ， $17\alpha(H)$ 胆甾烷系列还将异构化而衍生出热稳定性高的 $5\alpha(H)$ ， $14\beta(H)$ ， $17\beta$

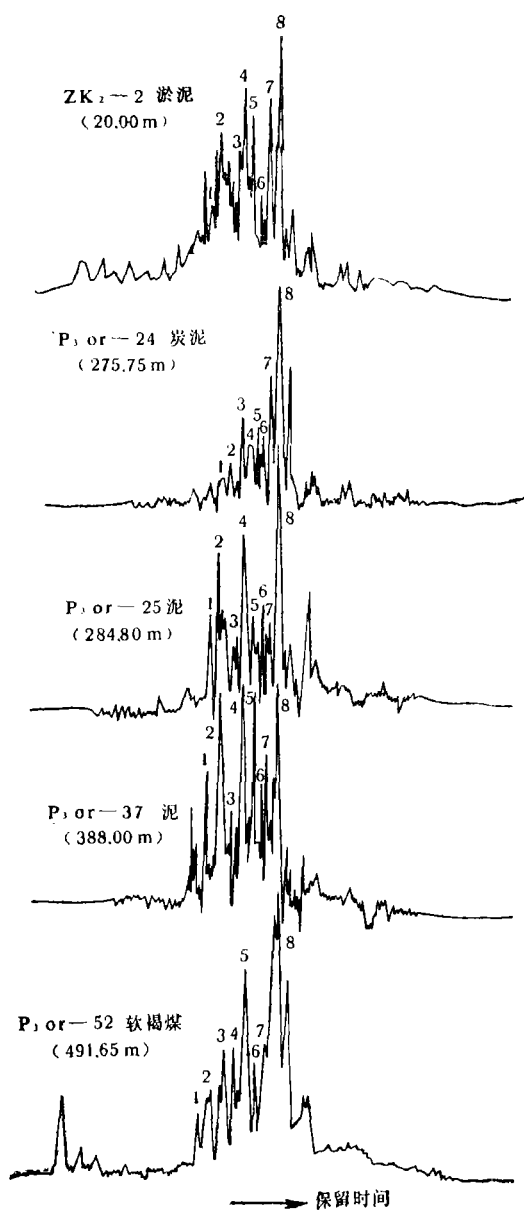


图2 参3孔部分样品甾烷质量色谱图 ( $m/e$  217)

表 2 参3孔甾烷类m/e217质谱峰鉴定命名表

峰号	分子量	分子式	化合物名称	缩写 (本文内)
1	372	C <sub>27</sub> H <sub>48</sub>	5β(H), 14α(H), 17α(H)-20R类甾烷 + 5α(H) 14α(H), 17α(H)-20S-胆甾烷	
2	372	C <sub>27</sub> H <sub>48</sub>	5α(H), 14α(H), 17α(H)-20R-胆甾烷	αααR-C <sub>27</sub>
3	386	C <sub>28</sub> H <sub>50</sub>	5α(H), 14α(H), 17α(H)-20S-24-甲基胆甾烷	αααS-C <sub>28</sub>
4	386	C <sub>28</sub> H <sub>50</sub>	5β(H), 14α(H), 17α(H)-20R-甲基类甾烷	βααR-C <sub>28</sub>
5	386	C <sub>28</sub> H <sub>50</sub>	5α(H), 14α(H), 17α(H)-20R-甲基胆甾烷	αααR-C <sub>28</sub>
6	400	C <sub>29</sub> H <sub>52</sub>	5α(H), 14α(H), 17α(H)-20S-24-乙基胆甾烷	αααS-C <sub>29</sub>
7	400	C <sub>29</sub> H <sub>52</sub>	5β(H), 14α(H), 17α(H)-20R-24-乙基类甾烷	βααR-C <sub>29</sub>
8	400	C <sub>29</sub> H <sub>52</sub>	5α(H), 14α(H), 17α(H)-20R-24-乙基胆甾烷	αααR-C <sub>29</sub>
①	288	C <sub>21</sub> H <sub>36</sub>	孕甾烷	

(H) 异胆甾烷系列和重排甾烷系列。根据这些异构化作用及其深度, 我们可以用来衡量有机质热演化程度。纵观参3孔甾烷类的组成和构型特征, 不仅缺少异胆甾烷系列和重排甾烷系列, 甚至一些与热演化作用有关的甾烷分子参数, 如  $\Sigma\alpha\alpha\alpha R/\Sigma$ 甾烷、 $\alpha\alpha\alpha C_{28} - \frac{20S}{20S+20R}$ ,  $\alpha\alpha\alpha C_{29} - \frac{20S}{20S+20R}$  等, 与埋藏深度之间都没有表现出规律性的关系(表3)。这就表明了参3孔沉积有机质的热演化作用很不明显, 从而也显示了有机质极不成熟的特征。

从参3孔样品中的甾烷类化合物的碳数分布来看, 大多数样品以C<sub>28</sub>甾烷的相对含量为最高, C<sub>27</sub>甾烷次之, C<sub>29</sub>甾烷占全部甾烷的50%以上。虽然少数样品中, 也出现了C<sub>28</sub>甾烷高于C<sub>27</sub>甾烷的情况, 但C<sub>29</sub>甾烷的相对含量总是高于C<sub>27</sub>甾烷的。我国的一些陆相沉积盆地, C<sub>28</sub>甾烷的相对含量大于C<sub>27</sub>甾烷的现象也是很普遍的(表4), 应该确认这是陆相沉积有机质生源物一个重要特征。

5α(H), 14α(H), 17α(H)-20R胆甾烷系列中, C<sub>27</sub>-C<sub>28</sub>甾烷的相对含量与沉积物类型之间, 表现了较为密切的关系。在炭泥软褐煤中, αααR-C<sub>27</sub>的相对含量范围为9.38—19.36%, 平均值为32.58%, 比在炭泥及软褐煤中的相对含量高得多。图3是参3孔样品中C<sub>27</sub>-C<sub>28</sub>5α(H), 14α(H), 17α(H)-20R胆甾烷系列的相对组成三角图, 清楚地显示了不同的沉积物类型之间的差别。

通常认为, 低等水生生物的甾醇以C<sub>27</sub>为主, 而C<sub>28</sub>、C<sub>29</sub>甾醇则是陆源植物甾醇的主要成分。因此, 上面提到的在不同类型的沉积物中, 5α(H)、14α(H)、17α(H)-20R胆甾烷系列的碳数分布的差异, 无疑地是反映了它们的生源构成的不同。需要指出的是, 我们所研究的一些泥质沉积物中, 其干酪根类型亦明显的属于腐泥型。这些样品

表3 参3孔甾烷参数字表

样号	C <sub>27</sub> -C <sub>29</sub> 甾烷相对含量(%)						C <sub>27</sub> -C <sub>29</sub> 甾烷胆甾烷相对含量(%)			Σ甾烷(%)	αααR/ Σ甾烷	αααR-C <sub>27</sub> /ΣC <sub>27</sub>	αααR-C <sub>29</sub> /ΣC <sub>29</sub>	αααR-C <sub>28</sub> S/R+S	αααR-C <sub>29</sub> S/R+S
	C <sub>27</sub> -C <sub>29</sub>		C <sub>27</sub> /		C <sub>27</sub> -C <sub>29</sub> αααR胆甾烷		C <sub>27</sub>	C <sub>28</sub>	C <sub>29</sub>						
	C <sub>27</sub>	C <sub>28</sub>	C <sub>29</sub>	ΣC <sub>27</sub> /	ΣC <sub>29</sub>	αααR胆甾烷									
Zk <sub>2</sub> -1	16.29	29.21	54.49	0.30	0.30	27.28	24.57	48.15	50.51	0.55	0.50	0.22	0.37		
Zk <sub>2</sub> -2	24.24	23.03	52.73	0.46	0.46	29.41	16.47	54.17	51.51	0.63	0.53	0.26	0.18		
P <sub>30Y</sub> -8	15.30	33.00	51.70	0.30	0.30	/	/	/	/	0.58	0.55	/	/		
P <sub>30Y</sub> -9	/	57.45	42.55	/	/	16.28	51.16	37.21	85.74	0.60	0.70	0.25	0.30		
P <sub>30Y</sub> -14	12.62	41.67	45.71	0.28	0.28	19.36	27.24	53.39	51.28	0.63	0.63	0.52	0.36		
P <sub>30Y</sub> -24	7.69	30.77	61.54	0.13	0.13	9.38	17.19	73.43	49.23	0.60	0.62	0.35	0.25		
P <sub>30Y</sub> -25	20.06	35.19	43.95	0.45	0.45	26.47	14.71	58.82	40.24	0.53	0.54	0.20	0.36		
P <sub>30Y</sub> -34	19.05	28.57	52.38	0.36	0.36	30.26	20.90	48.84	53.50	0.71	0.55	0.21	0.19		
P <sub>30Y</sub> -37	31.67	35.00	33.33	0.95	0.95	38.54	30.21	31.25	48.73	0.65	0.50	0.14	0.31		
P <sub>30Y</sub> -49	/	/	/	/	/	43.55	21.67	39.78	/	/	/	/	/		
P <sub>30Y</sub> -52	20.32	20.22	59.46	0.34	0.34	19.23	23.07	57.69	57.78	0.56	0.68	/	0.19		

表4 我国几个陆相沉积盆地甾烷中ΣC<sub>27</sub>/ΣC<sub>29</sub>比值表

盆地(凹陷)	相带	井号	层位	ΣC <sub>27</sub> /ΣC <sub>29</sub>
松辽	沼泽相	霍1井	K <sub>1</sub> q <sup>3+5</sup>	0.66
鄂尔多斯	沼泽相	岭11井	J <sub>1</sub>	0.63
松辽	滨湖相	杜406	K <sub>1</sub> q <sup>3+3</sup>	0.85
辽河	湖滨相	齐33	E <sub>5</sub> <sup>4</sup>	0.06
松辽	半深—深水湖相	大川	K <sub>1</sub> q <sup>3+3</sup>	0.89
东营	半深—深水湖相	营10	E <sub>5</sub> <sup>3</sup>	0.86

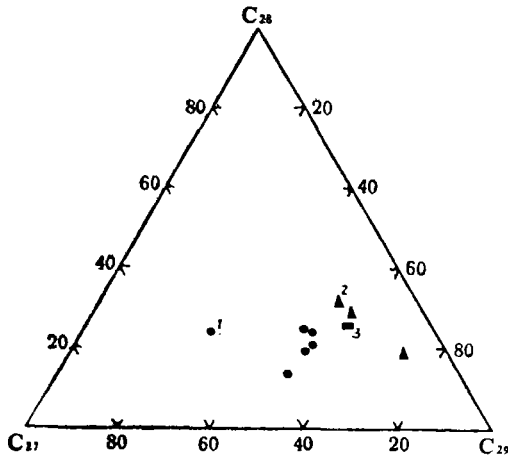
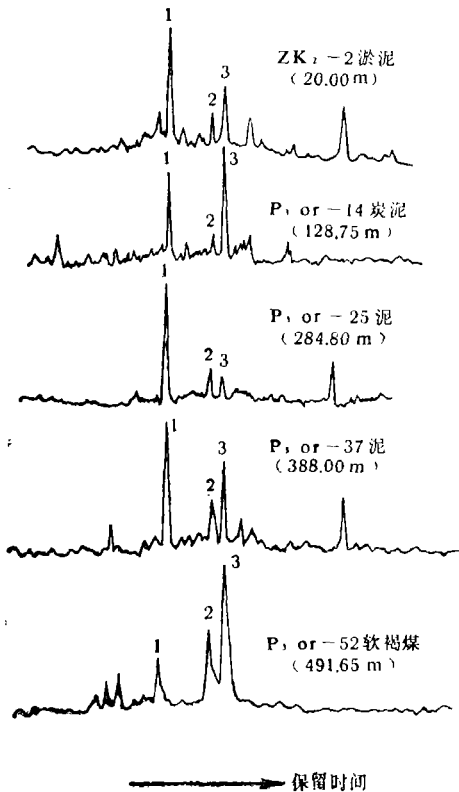


图3 参3孔不同类型沉积物中 $C_{27}-C_{29}$   $5\alpha(H)$ ,  $14\alpha(H)$ ,  $17\alpha(H)$   $20R$  胆甾烷系列相对组成三角图 (图中: 1泥质沉积物, 2炭泥, 3软褐煤)



的生源构成陆源植物虽仅属次要成分, 但正如前面所提到的,  $C_{29}$  甾烷的相对含量仍然是高于  $C_{27}$  甾烷。这就表明, 甾烷类化合物的碳数分布虽然受生源构成的控制和影响, 但两者之间不是简单的对应关系。

对于参3孔晚新生代沉积物中 $C_{29}$  甾烷的相对高丰度, 我们认为, 一方面是反映了它的生源物(如植物甾醇)的普遍存在; 另一方面也可能反映了在沉积和成岩作用早期, 生物化学(微生物)作用和低能量的物理化学作用下, 植物甾醇向着  $C_{29}$  甾烷的转化已经具有较高的转化率。

检出的4-甲基甾烷化合物, 其主要成分是 $C_{28}-C_{30}$ 的4-甲基- $5\alpha$ -胆甾烷系列, 图4是一些样品的  $m/e231$  质量色谱图。图中引人注目的是在泥质沉积物中, 4-甲基- $5\alpha$ -胆甾烷( $C_{28}$ )的相对丰度大于4-甲基-24-乙基- $5\alpha$ -胆甾烷( $C_{30}$ ), 而在炭泥和软褐煤中, 两者的关系恰恰相反。显然它们各自的生源物在不同类型的沉积物中, 具有不同的富集程度。

2. 甾烯类

参3孔的样品还普遍检出了  $C_{27}-C_{29}$  甾烯类化合物, 共计6种。图5是  $m/e215$  质量色谱图, 表5是定名表, 表6是有关样品的甾烯参数表。

图4 参3孔部分样品4-甲基甾烷的  $m/e231$  质量色谱图

- 峰1为4-甲基- $5\alpha(H)$ 胆甾烷)
- 峰2为4-24-二甲基- $5\alpha(H)$ 胆甾烷
- 峰3为4-甲基-24-乙基- $5\alpha(H)$ 胆甾烷

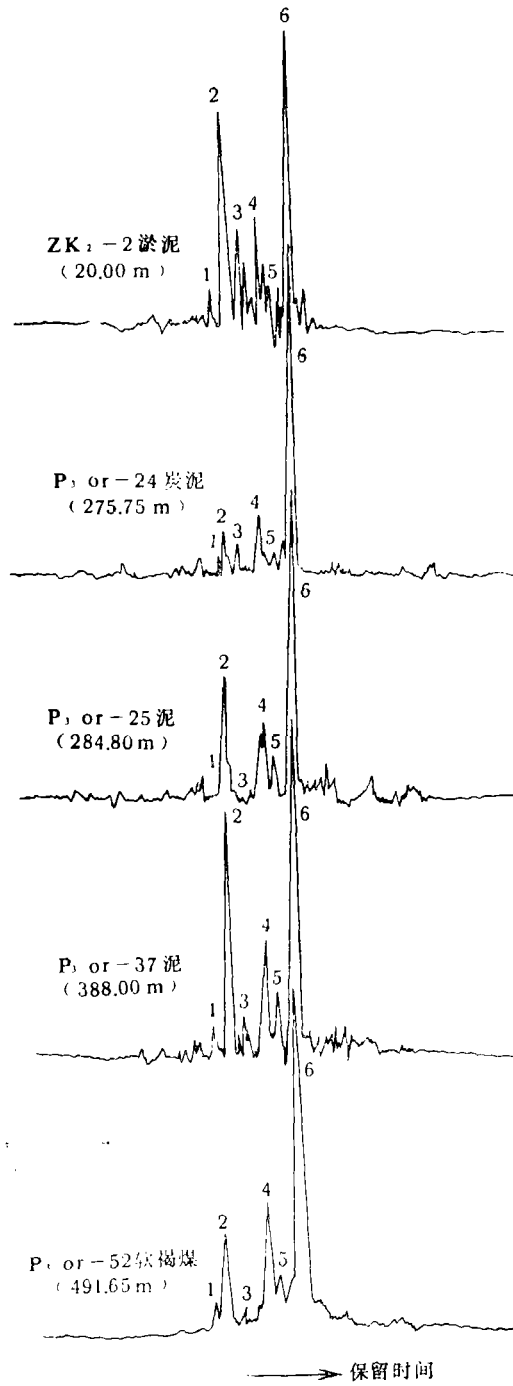


图5 参3孔样品中甾萜类化合物m/e215质量色谱图

表 5 参3孔甾烯类m/e质量色谱峰鉴定命名表

峰号	分子量	分子式	化合物名称	缩写 (表6内)
1	370	C <sub>27</sub> H <sub>46</sub>	5α(H),14α(H),17α(H),20S胆甾烯	αααS-C <sub>27</sub>
2	370	C <sub>27</sub> H <sub>46</sub>	5α(H),14α(H),17α(H),20R胆甾烯	αααR-C <sub>27</sub>
3	384	C <sub>28</sub> H <sub>48</sub>	5α(H),14α(H),17α(H),20S-24-甲基胆甾烯	αααS-C <sub>28</sub>
4	384	C <sub>28</sub> H <sub>48</sub>	5α(H),14α(H),17α(H),20R-24-甲基胆甾烯	αααR-C <sub>28</sub>
5	398	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub>	5α(H),14α(H),17α(H),20S-24-乙基胆甾烯	αααS-C <sub>29</sub>
6	398	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub>	5α(H),14α(H),17α(H),20R-24-乙基胆甾烯	αααR-C <sub>29</sub>

从图5可见,甾烯类化合物在参3孔样品中,有C<sub>27</sub>-C<sub>29</sub>5α(H)、14α(H)、17α(H)-20R和C<sub>27</sub>-C<sub>29</sub>5α(H)、14α(H)、17α(H)-20S两个构型系列。其中,以5α(H)、14α(H)、17α(H)、20R系列为主要成分,它们在m/e215质量色谱图上显示了突出的优势,ΣαααR甾烯/Σ甾烯(%)介于77.89—91.72%之间,平均值为86.11%(表6)。

在5α(H)、14α(H)、17α(H)-20R甾烯系列中,以C<sub>28</sub>甾烯的丰度最高,其相对百分含量范围为45.08—78.49%,平均值为61.63%,αααR-C<sub>28</sub>/αααR-C<sub>27</sub>>1(表6)。

虽然在全部样品中,C<sub>28</sub>甾烯保持着最高丰度,但是,沉积物类型的变化,对于5α(H)、14α(H)、17α(H)-20R甾烯系列的碳数分布的影响,还是清楚可见的。在炭泥和软褐煤中,一般地C<sub>28</sub>>C<sub>28</sub>>C<sub>27</sub>;而在泥质沉积物中,C<sub>27</sub>甾烯明显增加,以致于其丰度可以大于C<sub>28</sub>甾烯,反映了生源物构成的差异。

表 6 参3孔甾烯参数表

样号	αααR 甾烯系列 相对含量(%)			ΣαααR 甾烯 (%)	αααR-C <sub>29</sub>	αααR- C <sub>28</sub> -C <sub>29</sub>	αααR-C <sub>27</sub> - -20S	ααα-C <sub>28</sub> - 20S	ααα-C <sub>29</sub> - 20S
	C <sub>27</sub>	C <sub>28</sub>	C <sub>29</sub>		αααR-C <sub>27</sub>	αααR-C <sub>27</sub>	20R+20S	20R+20S	20R+20S
Zk <sub>2</sub>	39.38	15.54	45.08	86.61	1.14	1.54	0.02	0.37	0.10
P <sub>30γ-9</sub>	21.69	18.07	60.24	89.50	2.79	3.61	0.10	0.15	0.09
P <sub>30γ-14</sub>	8.40	20.50	71.10	84.78	8.40	10.90	0.12	0.10	0.16
P <sub>30γ-24</sub>	7.57	13.64	78.79	91.72	10.40	12.21	0.20	0.10	0.06
P <sub>30γ-25</sub>	21.29	11.61	67.09	90.39	3.15	3.69	0.07	0.10	0.11
P <sub>30γ-34</sub>	28.38	12.16	59.46	77.89	2.09	2.52	0.35	0.28	0.12
P <sub>30γ-37</sub>	37.00	16.00	47.00	86.09	1.27	1.70	0.10	0.21	0.14
P <sub>30γ-49</sub>	19.44	16.67	63.89	78.26	3.26	4.14	0.50	0.14	0.08
P <sub>30γ-52</sub>	18.99	18.99	62.02	89.77	3.27	4.27	0.18	0.12	0.08



值得指出，参3孔的甾烷类和甾烯类，在主要成分的构型与碳数分布方面具有相似的特征，可能暗示了这两类甾族化合物在成因上的密切联系。B.P. Tissot等(1978)认为甾醇在非常还原和加氢作用的环境下向甾烷转化，而在较弱的沉积还原条件下则导致甾烯的生成。

另外，参3孔样品中甾烯类化合物的成分、构型以及碳数分布，与样品的埋藏深度之间都没有表现出规律性的变化，从而也表明了热演化作用是不明显的。

### 3. 萜烷和萜烯类

从参3孔样品中，检出了10种萜烷化合物和4种萜烯化合物。图6是一些样品的m/e191质量色谱图，显示了这些萜类的组成和分布。其中鉴定出的化合物见表7，有关萜烷的分子参数列于表8。

检出的萜烷类化合物基本以五环三萜烷为主，部分样品还检出了四环萜烷(C<sub>24</sub>H<sub>42</sub>)。检出的五环三萜烷化合物有C<sub>27</sub>—C<sub>32</sub>的17β(H)，21β(H)生物构型藿烷系列(β藿烷)和C<sub>29</sub>—C<sub>31</sub>的17β(H)，21α(H)莫烷系列(β莫烷)，还有C<sub>29</sub>—C<sub>30</sub>的17α(H)，21β(H)地质型藿烷系列，它们均占明显优势。Σβ藿烷/Σ萜烷介于62.86—78.73%之间，平均值为70.54%。其分布规律为：β型>βα型<αβ型。

17β(H)、21β(H)型藿烷化合物的D/E环呈反式连接，18、21碳位上的甲基处于E环的同侧，属于顺式连接。这种结构骨架在热力学上是很不稳定的。在地质体中，

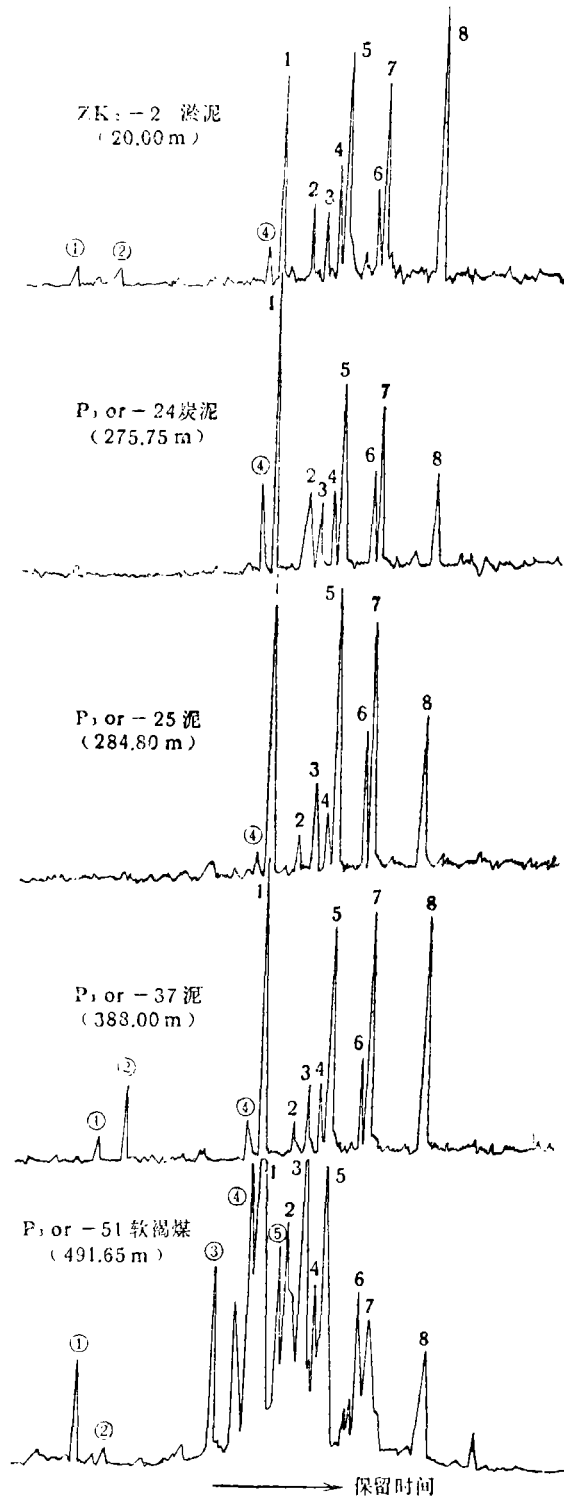


图6 参3孔样品中萜类m/e191质量色谱图

表 7 参3孔类m/e191质量色谱峰鉴定命名表

峰号	分子量	分子式	化 合 物 名 称	缩 写
1	370	C <sub>37</sub> H <sub>46</sub>	17β(H)-22,29,30-三降萘烷	
2	398	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub>	17α(H),21β(H)-30-降萘烷	αβ-C <sub>29</sub>
3	398	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub>	17β(H),21α(H)-30-降萘烷	βα-C <sub>29</sub>
4	412	C <sub>30</sub> H <sub>52</sub>	17α(H),21β(H)萘烷	αβ-C <sub>30</sub>
5	398	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub>	17β(H),21β(H)-30-降萘烷	ββ-C <sub>29</sub>
6	426	C <sub>31</sub> H <sub>54</sub>	17β(H),21α(H)-30-升萘烷	βα-C <sub>31</sub>
7	412	C <sub>30</sub> H <sub>52</sub>	17β(H),21β(H)-萘烷	ββ-C <sub>31</sub>
8	426	C <sub>31</sub> H <sub>54</sub>	17β(H),21β(H)-30-升萘烷	ββ-C <sub>31</sub>
9	440	C <sub>32</sub> H <sub>56</sub>	17β(H),21β(H)-30,31-二升萘烷	ββ-C <sub>32</sub>
①	330	C <sub>24</sub> H <sub>42</sub>	四环萘烷	
②	328	C <sub>24</sub> H <sub>40</sub>	四环萘烯	
③	368	C <sub>27</sub> H <sub>44</sub>	三降萘烯(Ⅰ)	
④	368	C <sub>27</sub> H <sub>44</sub>	三降萘烯(Ⅱ)	
⑤	372	C <sub>28</sub> H <sub>46</sub>	二降萘烯	

表 8 参 3 孔 萘 烷 参 数 表

样 号	C <sub>27</sub> -C <sub>32</sub> ββ萘烷相对含量(%)					Σββ萘烷	ββ-C <sub>29</sub>	ββ-C <sub>29</sub>	ββ-C <sub>30</sub>	ββ-C <sub>31</sub>
	C <sub>27</sub>	C <sub>29</sub>	C <sub>30</sub>	C <sub>31</sub>	C <sub>32</sub>	Σ萘烷(%)	βα-C <sub>29</sub>	αβ-C <sub>29</sub>	αβ-C <sub>30</sub>	βα-C <sub>31</sub>
Zk <sub>2</sub> -1	21.64	21.64	20.35	36.36	/	75.98	2.78	2.27	1.21	6.00
Zk <sub>2</sub> -2	23.68	24.34	20.39	31.58	/	78.73	3.36	2.96	1.59	3.43
P <sub>30</sub> γ-8	10.83	27.50	34.58	27.08	/	72.72	3.30	/	2.96	3.55
P <sub>30</sub> γ-9	42.04	38.78	19.18	/	/	75.04	2.87	1.61	0.63	/
P <sub>30</sub> γ-14	57.86	29.56	12.58	/	/	70.71	2.20	/	1.53	/
P <sub>30</sub> γ-24	41.13	24.19	20.96	13.71	/	69.08	2.61	2.14	2.00	2.50
P <sub>30</sub> γ-25	27.01	28.98	27.85	16.06	/	70.01	3.10	6.64	4.11	3.15
P <sub>30</sub> γ-34	24.06	19.55	27.07	17.29	12.03	66.50	2.36	2.89	1.09	1.64
P <sub>30</sub> γ-37	30.00	22.35	23.53	24.12	/	63.74	3.10	5.43	5.71	3.03
P <sub>30</sub> γ-52	33.33	33.33	14.39	13.60	5.30	62.86	1.26	1.83	1.19	1.13

随着有机质成熟度的增高， $\beta\beta$ 型藿烷要逐渐向热力学上较稳定的 $\beta\alpha$ 型莫烷和最稳定的 $\alpha\beta$ 型藿烷转化，以致在一般生油岩和原油中， $\beta\beta$ 型藿烷的相对含量就往往小于 $\beta\alpha$ 型莫烷和 $\alpha\beta$ 型藿烷。因此参3孔样品中， $\beta\beta$ 型藿烷在藜烷类中的高比例特征，显然也是其有机质很不成熟的一种特征表现。

反映参3孔沉积有机质成熟度低的藜烷类构型上的另一个特征是22碳位仅有20R构型，而没有出现20S构型。20R构型是从生源物中继承下来的，而20S构型则是在有机质熟化过程中经差向异构化作用由20R转化的结果。一般认为R、S构型达到等量才是异构化的终点。

虽然参3孔沉积有机质的热演化作用很不明显，它的藜烷类化合物的组成、构型和分布，随埋藏深度也变化不大，但是，从 $\beta\beta$ 、 $\beta\alpha$ 、 $\alpha\beta$ 三种构型的藜烷系列的相对含量来看，我们仍然可以发现随着埋藏深度的增加，表现了一些规律性的变化。如 $\beta\beta$ 构型藜烷的相对含量随埋藏深增加而表现了下降的趋势（图7）。另外， $\beta\beta$ - $C_{29}$ / $\beta\alpha$ - $C_{29}$ 、 $\beta\beta$ - $C_{31}$ / $\beta\alpha$ - $C_{31}$ 等分子参数也有减小的倾向（表8）。

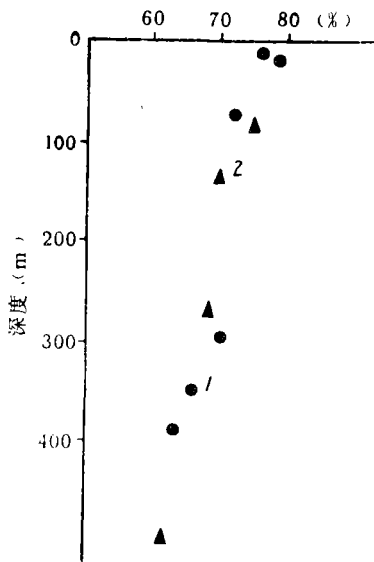


图7  $\beta\beta$ 型藿烷在藜烷类中的百分含量与埋藏深度的关系

1泥质沉积物 2炭泥（含软褐煤）

$\beta\beta$ 型藜烷系列的碳数分布，似乎受沉积物类型的明显影响。在泥质沉积物中， $C_{27}$ 、 $C_{29}$ 、 $C_{31}$ 藜烷的相对含量较为接近，而在炭泥沉积物中，则 $C_{27}$ 藜烷的相对含量比其它藜烷高得多。显然与陆生植物成分有较为密切的关系。

从参3孔样品中检出的藜烯类化合物主要有四环藜烯、三降藜烯和二降藜烯，这些藜烯化合物可能和甾烯化合物一样，是很不成熟的沉积有机质中的特征成分，关于它们的来源和演化，还有待进一步研究。

#### 四、结 语

通过以上的讨论，可综合如下一些初步认识：

参3孔晚新生代沉积物中所检出的甾、萜类生物标志化合物，在组成、构型上与一般生油岩和原油有明显区别。甾烷类化合物主要是 $5\alpha(H)$ 、 $14\alpha(H)$ 、 $17\alpha(H)$ -20R胆甾烷系列；藜烷类主要是 $\beta\beta$ 藜烷系列。这些系列化合物的构型是从它们的生源物继承而来的，在热力学上是不稳定的，它们的高丰度，正是昆明盆地晚新生代沉积有机质低成熟度的具体表现。

甾烯和藜烯系列化合物的普遍检出，也是昆明盆地晚新生代沉积物中生物标志化合物在组成上的又一重要特点，无疑是沉积有机质很不成熟的表现。

参3孔所揭示的昆明盆地晚新生代沉积物厚度为516米,其甾、萜类生物标志化合物的成分、构型随埋藏深度的变化并不明显,更没有表现出规律性的特征。表明甾、萜类化合物因热力作用而产生的异构化,还需要更大的埋藏深度(温度)。其中 $\beta\beta$ 藿烷系列的相对含量随着埋藏深度的增加表现了一定的下降趋势,也许是由于在热力学上很不稳定而对成岩作用过程中的“地质熟化”有较高的灵敏度。

参3孔样品检出的各种甾、萜类化合物,在浅层样品中即已出现,表明这些化合物在生物化学(微生物)作用和低能量的物理化学反应中即可产生,因而具有“原生性”,它们的组成、构型和分布特征实际上展示了一类很不成熟的陆相沉积有机质的甾、萜类生物标志化合物的基本面貌。

参3孔的甾、萜类化合物的碳数分布,明显受沉积物类型的影响。一般说来,炭泥、软褐煤的 $C_{26}$ 甾烷和 $C_{27}$ 藿烷的相对含量普遍比泥质沉积物高,这可能是和陆生植物成分在母源输入的比例有关。此外,甾烯系列和 $5\alpha(H)$ 、 $14\alpha(H)$ 、 $17\alpha(H)$ -20R胆甾烷系列的碳数分布有很大的相似性,表明了它们之间在成因上的联系。

最后需要提出的是在参3孔样品中,也检出了一些构型在热力学上较为稳定的甾、萜烷系列化合物,如 $\alpha\beta$ 型藿烷系列等。这类标志物相对含量不高且无规律可循,能否认为是再沉积的结果?还需进一步的研究。

致谢:本文所涉及的样品抽提和族组份分析,由付红、刘敏同志担任,GC-MS分析是由石油部勘探开发科学研究院姜乃煌同志完成的,在此表示衷心感谢和敬意!

(收稿日期:1985年8月14日)

### 参 考 文 献

- [1] 黄第藩等,陆相有机质演化和成烃机理,石油工业出版社,1984年。
- [2] 贝丰等,昆明盆地第四纪沉积物中有机质的初步研究,中国地质科学院成都地质矿产研究所刊(第五号),地质出版社,1984年。
- [3] 尚慧芸等,陆相沉积盆地指相生物标记化合物及分子参数,沉积学报,第1卷第1期,1983年。
- [4] 史继扬等,胜利油田原油和生油岩中的生物标志化合物及其应用,地球化学,1982年第1期。
- [5] J.W.De Leeuw et al., 1983, Free Esterified and Residual Bound Sterols in Black Sea Unif I Sediments, *Geochim Cosmochim. Acta*, Vol. 47, p.455—465.
- [6] Seifert, W.K. and Moldowan, J.M., 1978, Application of Steranes, Terpanes and Monoaromatics to Maturation, Migration and Source of Crude oils. *Geochim. et Cosmochim. Acta.*, Vol.42, No.1.

# A PRIMARY STUDY OF BIOMARKER COMPOUNDS ( STEROIDS TERPENOIDS ) FROM LATE CENOZOIC SEDIMENTS IN THE CHAN 3-BORING HOLE OF KUNMING BASIN

Song Zhenya    Bei Feng  
( Chengdu College of Geology )

## Abstract

In this paper, the biomarker compounds ( Steroids and terpenoids ) in the extracts from Late Cenozoic sediments in the Chan 3-boring hole are studied by means of GC-MS.

The Chan 3-boring hole is located at the eastern margin of Dianchi Lake in Kunming Basin. The Cenozoic sediments in the hole mainly consist of weakly consolidated sands, silts and clays with peat and brown coal seams, up to 516 m thick.

The primary study of biomarker compounds shows that the composition, structure and distribution of biomarker compounds in the sediments are obviously different from those in source rocks and crude oils. Higher abundance of  $17\beta(H)$ ,  $21\beta(H)$  hopanes, and  $5\alpha(H)$ ,  $14\alpha(H)$ ,  $17\alpha(H)$ ,  $20R$ -steranes and the presence of a lot of steranes and terpenes in these samples indicate that they are immature.

There is no relationship between the characteristics of biomarker compounds in the sediments and the burial depth. This completely reflects the evolutionary level of organic matter in the sediments. But the relative amount of  $\beta\beta$ -hopanes in the sediments tends to decrease gradually with increasing of depth, thus it can be considered as a more effective index for thermal evolution.

The distributions of carbon number in steranes and terpanes are controlled by the types of the sediments. Relative amounts of  $C_{29}$  steranes and  $C_{27}$  hopanes in the carbonaceous mud and brown coal are larger than those in argillaceous sediments. It is interesting to note that the distributions of carbon number in  $\alpha\alpha\alpha R$ -Steranes series and  $\alpha\alpha\alpha R$ -Sterenes series are similar.