

文章编号: 1000-0550(2010) 03-0635-08

典型断陷湖盆 C_{27} 三降藿烷参数演化及其控制因素^① ——以东营凹陷古近系为例

陈中红 查明 金强

(中国石油大学(华东)地球资源与信息学院 山东东营 257061)

摘要 为研究实际地质体或地质剖面中的 C_{27} 三降藿烷生物标志物同分异构体的演化、分布和主要控制因素,对目前关注的东营凹陷深层烃源岩进行了较密集的取心、测试和分析(丰 8 丰深 1、史 121 史 126 井),在此基础上,对东营凹陷古近系沙河街组三段和四段和孔店组等主要烃源岩层系(深度上横跨 2 700~4 200 m)进行了详细的研究,结果表明:在 2 7~3 572 km,除 T_m 的相对含量随埋藏深度增加总体降低以外,其他参数 T_s 、 T_{s+T_m} 的相对含量(相对于 191 质谱图中总离子流的百分含量)及 T_s/T_m 及 $T_s/(T_s+T_m)$ 值均总体上随埋藏深度增加总体呈升高趋势;而在 3 572~4 2 km,上述各参数随埋藏深度的关系均发生了“逆转”。研究发现, C_{27} 三降藿烷成熟度参数的分布除与其同分异构体的生成速率、热稳定性及异构化作用密切相关外,还与一些高分子化合物在裂解过程中向 T_s 的转化有关;热力作用宏观上控制了相关参数的分布,相关参数的逆转与碳酸盐矿物的富集密切相关,碳酸盐矿物对 C_{27} 三降藿烷成熟度参数具有抑制作用或迟缓效应。

关键词 C_{27} 藿烷 生物标志物 成熟度参数 热演化 碳酸盐岩 东营凹陷

第一作者简介 陈中红 男 1976 年出生 博士 副教授 油气地质 E-mail hongczh@163.com

中图分类号 P593 **文献标识码** A

通常认为,生物标志物成熟度参数会随埋藏深度增加而增大,直至达到一个热演化平衡状态。然而,目前在许多含油气盆地中,发现一些分子成熟度参数在到达“平衡状态”或者“热力学终点”以后,出现显著降低的“逆转”规律,如 C_{29} 甾烷的两个参数 $C_{29} 20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29} \beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 就被发现在实验室热模拟过程中或一些盆地地质剖面上显示出“逆转”的异常现象,这种生物标志物在高成熟阶段的“逆转”特征使科学家们对生物标志物同分异构体演化过程及演化规律做出了种种探索。

$18\alpha-C_{27}$ 三降藿烷 T_s 与 $17\alpha-C_{27}$ 三降藿烷 T_m 的相关比值 T_s/T_m 、 $T_s/(T_s+T_m)$ 是目前得到广泛应用的生物标志物成熟度参数之一,在生油岩评价中,该两参数主要作为有机质成熟度的指标,一般认为随成熟度的增加,由于不稳定的 T_m 向稳定的 T_s 转化, T_s/T_m 、 $T_s/(T_s+T_m)$ 增大。该参数是否具有与 $C_{29} 20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29} \beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 相似的在一定高成熟度阶段的“逆转”特征?目前对此方面报道较少。为探索这种重要的生物标志物成熟度参数随热演化程度增强尤其在高成熟阶段的响应,以东营凹陷

实测地质剖面为典型实例进行了研究。东营凹陷是中国东部典型的陆相断陷湖盆,也是国内目前发现的典型富油凹陷之一,利用该凹陷实测地质剖面研究可以避免实验室人工加热条件下无法真实模拟自然地质条件下的烃类或生物标志物分子异构体形成过程的弊端^[1],同时该凹陷连续沉积上千米烃源岩的地质特征为进行实际地质剖面中生物标志物同分异构体的分布及演化研究创造了良好条件。

1 地质背景和实验方法

1.1 地质背景

东营凹陷属于渤海湾盆地中、新生代裂谷盆地的三级负向构造单元,位于济阳拗陷南部,具有北断南超的开阔型箕状凹陷特征。受北部边界陈南大断裂的控制,该凹陷古近系沉积了一套以泥质为主夹砂岩、碳酸盐岩的碎屑物质。在构造运动的控制下,该段沉积物经历了盐湖相、深湖相及河流—三角洲相旋回式沉积过程,其中孔店组、沙四段为蒸发环境下的盐湖沉积,沙三段主要发育大套暗色泥岩夹油页岩、薄层砂岩的半深湖、深湖、浅湖相沉积,沙二段为砂泥

①国家自然科学基金(批准号:40802026)和山东省自然科学基金(编号:Q2007E04)资助。

收稿日期:2009-03-03 收修修改稿日期:2009-05-18

岩互层的河流—三角洲相沉积,沙一段到东营组为下一旋回的湖相沉积,发育灰色、灰褐色泥岩。在该凹陷传统上被认为是主力烃源岩^[2~4]的古近系沙河街组四段(后文简称为沙四段)、沙河街组三段(后文简称为沙三段)中,连续沉积了可达上千米的暗色泥岩和蒸发岩,为该项研究提供了优质的烃源岩地质剖面。

我们在对该凹陷烃源岩体系长期研究及近几年深层勘探的基础上,对目前关注的深层烃源岩(丰 & 丰深 1 史 121 史 126 井)进行了多块样品的取心、测试,同时也收集了部分中浅层样品的测试数据,这些测试数据分布于沙三段、沙四段和孔店组主要烃源岩层系,深度上横跨 2 700~4 200 m。利用我们目前所掌握的这些相对丰富的烃源岩生物标志物信息,可以良好地判断和说明典型实测地质剖面中 C_{27} 三降藿烷 T_{28}/T_{m} 分子同分异构体及相应成熟度参数的演化及分布规律。

1.2 实验方法

实验流程如下:①以氯仿为溶剂,70℃恒温下在索氏抽提器中连续抽提 72 h。②取抽提物 10~15 mg 加入石油醚溶解,反复冲洗后移至烧瓶中,静置 24 h(烧瓶中有石油醚 100 ml 左右),过滤。不溶部分即为沥青质,可溶部分为饱和烃、芳香烃和非烃的混合物。准备硅胶—氧化铝充填柱,氧化铝在 450℃恒温下连续活化 5 h,硅胶在 150℃恒温下连续活化 8 h。硅胶和氧化铝以 3:1 的比例填入色层柱中(硅胶在上,氧化铝在下)。用石油醚润湿柱子后,倒入样品滤液,加石油醚冲洗得到饱和烃,二氯甲烷冲洗得到芳烃,乙醚冲洗得到非烃。

GC—MS 分析仪器为美国 HP 公司的 HP—Chem istation—色质连用仪。型号:色谱为 HP—5890 II 型,质谱为 HP—5890A 型,色谱柱为 DB5—MS 柱长 60 m,内径 0.25 mm。起始温度 100℃,升温速率 4.0℃/min,温度终点 320℃,终点时间 20.00 min,气化室及传输管线温度 310℃,离子源温度 250℃,柱前压为 170 kPa,分流比为 20:1,载气为氦气,电子能量 70 eV,扫描速率为 0.46 can/s,离子化方式为电子轰击。

2 三降藿烷 T_{28}/T_{m} 相关参数的总体分布特征

在常规生油岩评价中, T_{28}/T_{m} 及 $T_{28}/(T_{28}+T_{m})$ 主要作为有机质成熟度的指标,一般认为随成熟度的增

加,由于不稳定的 T_{m} 向稳定性较高的 T_{28} 转化, T_{28}/T_{m} 及 $T_{28}/(T_{28}+T_{m})$ 比值增大。但实际上在高热演化阶段, T_{28}/T_{m} 自身会发生裂解,由于裂解速率的差异导致其相关比值的增大或减小,同时在一些高分子量化合物裂解的过程中也会有 T_{28}/T_{m} 的生成,会导致 T_{28}/T_{m} 相对含量的变化,但这种因素却很少得到有效说明。因此要想有效说明 T_{28}/T_{m} 及 $T_{28}/(T_{28}+T_{m})$ 随热演化增强而发生变化的影响因素,除讨论该两参数的分布规律外,还要研究 T_{28}/T_{m} 及 $T_{28}/(T_{28}+T_{m})$ 在地质剖面中的分布规律。

研究表明,东营凹陷烃源岩中有机质的成熟门限在 2.7 km 左右,生排烃高峰在 3.2~3.6 km,到 4.0 km 左右,该凹陷烃源岩的生排烃潜力已经大大降低^[3,5],因此为考察烃源岩中有机质开始成熟到生排烃高期及生排烃衰退阶段 T_{28}/T_{m} 及 $T_{28}/(T_{28}+T_{m})$ 的响应,对 2.7 km 到 4.2 km 深度范围内 T_{28}/T_{m} 及 $T_{28}/(T_{28}+T_{m})$ 的分布规律进行了研究。

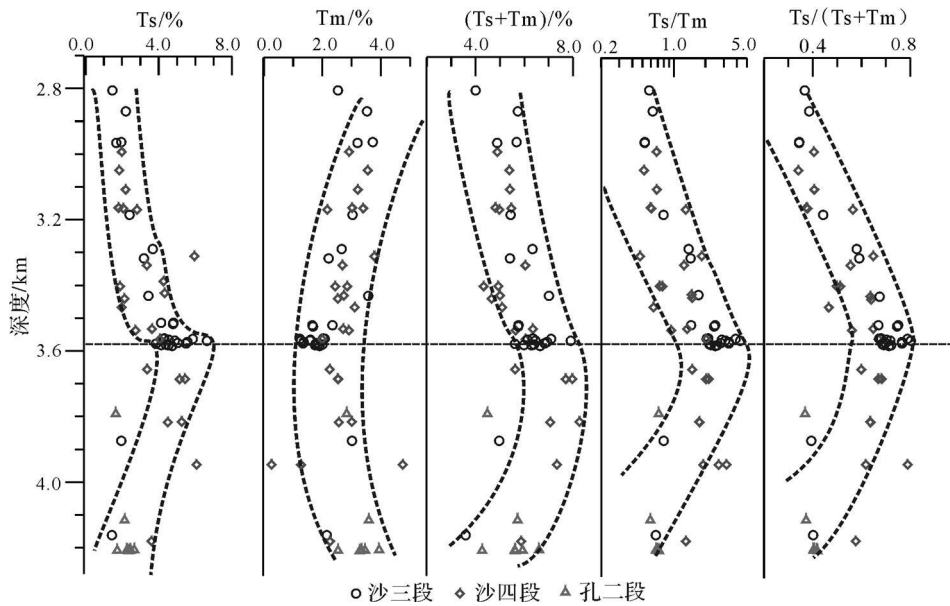
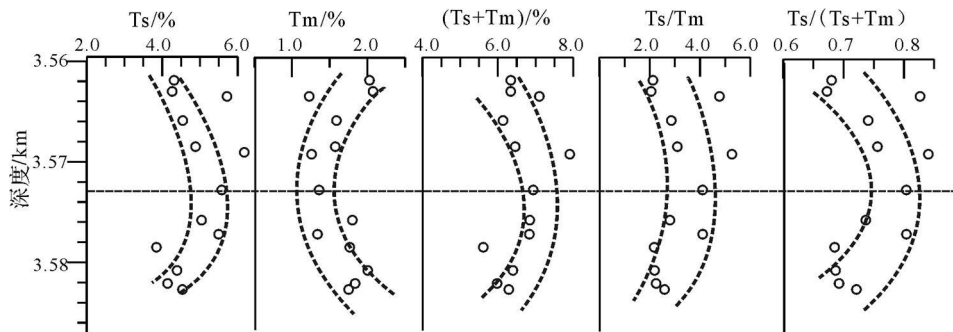
可以看出,在该区间范围内,所有参数的分布规律在宏观上都显示出二分性:在 2.7~3.572 km,除 T_{m} 的相对含量随埋藏深度增加总体降低以外,其他参数 $T_{28}/T_{28}+T_{m}$ 的相对含量(两者都是相对于 191 质谱图中总离子流的百分含量)及 T_{28}/T_{m} 及 $T_{28}/(T_{28}+T_{m})$ 值均总体上随埋藏深度增加总体呈升高趋势;而在 3.572~4.2 km,上述各参数随埋藏深度的关系均发生了反向变化,即随埋藏深度增加,除 T_{m} 的相对含量总体升高外,其它参数均总体降低。 T_{28}/T_{m} 及 $T_{28}/(T_{28}+T_{m})$ 的这种分布规律,显示出与 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 相似的在高成熟阶段的“逆转”规律,而 3.572 km 可视为一种“热演化平衡”的临界状态(图 1)。

该临界点深度的获得可以从对史 121 井 3 560~3 582 m 烃源岩近距离样品的密集检测分析结果获得。对史 121 井热演化平衡临界点附近 22 m 内泥岩样品(同次测试,全为深灰色泥岩)进行的密集测试分析结果更能清晰地显示出这种“逆转”现象(图 2)。图 3 为图 2 中相关数据样品的 191 质谱图,从中可以看出在近距离 20 m 内不同样品 T_{28}/T_{m} 相对 $17\alpha-21\beta-C_{30}H$ (藿烷)分布的变化。

3 相关参数分布及演化的控制因素分析

3.1 热力控制和同分异构体之间的异构化作用

Requej 认为 $T_{28}/(T_{28}+T_{m})$ 随埋藏深度而增加的原因是 T_{28} 相对含量的增加^[6],虽然他的研究结果是

图 1 东营凹陷古近系 T_s T_m 相关参数的剖面分布Fig 1 The evolution section of parameters relative to C_{27} trisnophane in the Paleogene system in Dongying sag图 2 东营凹陷史 121 井 3 560~3 582 m T_s T_m 相关参数的剖面分布Fig 2 The evolution section of parameters relative to C_{27} trisnophane across the depth from 3 560 m to 3 582 m from the Well Shi-121 in Dongying sag

基于少数样品, 而 Paul farrimond 认为其主要原因是在这个过程中 T_m 具有更快的裂解速率造成^[7]。从本次研究成果可以看出, T_s/T_m 及 $T_s/(T_s+T_m)$ 剖面分布规律显然与 T_s 、 T_m 及 T_s+T_m 在地质剖面中的变化规律有关: 在到达热演化平衡临界状态之前 (2.7~3.57 km), 随热演化增强, T_m 相对含量下降而 T_s 相对含量升高的分布特征表明, 由于不稳定的 T_m 在发生裂解, 其中一部分转化为 T_s 从而导致两者的反向变化, 然而 T_s+T_m 总含量随埋藏深度增加呈总体升高的趋势, 又表明 T_s 相对含量的增加不仅仅在于 T_m 裂解过程中异构化的贡献, 其中也包含着其它高分子化合物在裂解过程中的转化。因此, 本次研究结果表明 Paul farrimond^[7] 和 Requejo^[6] 的认识具有

关联性, 由于“ T_m 具有更快的裂解速率”^[7] 导致“ T_s 的增加”^[6], 即 T_s 、 T_m 这种同分异构体之间此消彼长的异构化作用造成了生物标志物分子成熟度参数的显著变化^[8], 但生物标志物成熟度参数的变化机理比较复杂, 不同生物标志物分子异构体的生成速率和其热稳定性对其相对浓度的影响很重要^[6, 9~13], 除此之外, 本次研究结果显示一些高分子化合物的裂解中也会造成 T_s 相对含量一定程度的增加, 从而造成 T_s/T_m 及 $T_s/(T_s+T_m)$ 的变化, 对于这种同分异构体以外其它高分子化合物裂解的贡献, 在目前的相关研究中较少得到体现。

分子生物标志物同分异构体之间的异构化作用和其他高分子化合物的裂解作用显然受热力作用控

制。对 T_{s+Tm} 、 T_s+T_m 及 $T_s/(T_s+T_m)$ (T_s/T_m 与 $T_s/(T_s+T_m)$ 性质一致) 与沉积盆地常用的热演化参数镜质体反射率 (R_o)、热解产率指数 (I_p , $S_1/(S_1+S_2)$), 为已生烃与干酪根总生烃潜量的比值, 表示有机质演化程度, 又称转化比率) 和分子生物标志物中常用成熟度参数 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 、 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 进行相关性统计分析 (本次同期测试, 31 个样品), 统计结果也显示它们之间存在着良好的相关性, 即随着热演化程度的增强和 R_o 、 I_p 、 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 、 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 值的增大, 除 T_m 值总体降低以外, 其他参数 T_s 值、 T_s+T_m 及 $T_s/(T_s+T_m)$ 均总体上升高 (图 4)。

3.2 沉积环境及矿物组成的影响

虽然热力作用在一定深度范围内是控制 C_{27} 三降萘烷同分异构体分布及成熟度参数 T_s 、 T_m 、 T_s+T_m 、 T_s/T_m 及 $T_s/(T_s+T_m)$ 等分布的关键地质因素, 但目前越来越多的研究结果显示沉积环境、矿物组成、生

源输入等地质因素对其分布也会造成一定影响。为此, 选择基于不同沉积环境下的样品进行对比统计分析, 可以在一定程度上反映出原始有机质类型和沉积环境在上述 T_s 、 T_m 等参数值分布中的作用。从统计结果看, 相对于蒸发岩沉积环境中咸化环境下的孔店组和沙四段烃源岩样品而言, 反映淡水—微咸水沉积环境中的沙三段粘土质泥岩样品 T_s 、 T_s/T_m 及 $T_s/(T_s+T_m)$ 总体上相对较高, 而 T_m 和 T_s+T_m 总体上相对较低 (表 1)。孔店组和沙四段样品较沙三段样品整体上埋藏较深, 热演化程度高, 但热演化参数 T_s/T_m 及 $T_s/(T_s+T_m)$ 却出现相应的低值, 显示了咸化沉积环境对成熟度参数的影响。这对于孔店组样品最为明显, 孔店组 7 块样品来自于王 46 井 4 200~4 215 m, 虽然样品一致为泥岩, 但该井段为蒸发岩沉积环境, 碳酸盐岩发育, 岩性特征为膏盐、岩盐与深灰色及黑色泥岩混层, 地层水咸化程度较高。同时由于本次孔店组样品来源于湖盆水体浅的湖沼相, 蒸发作

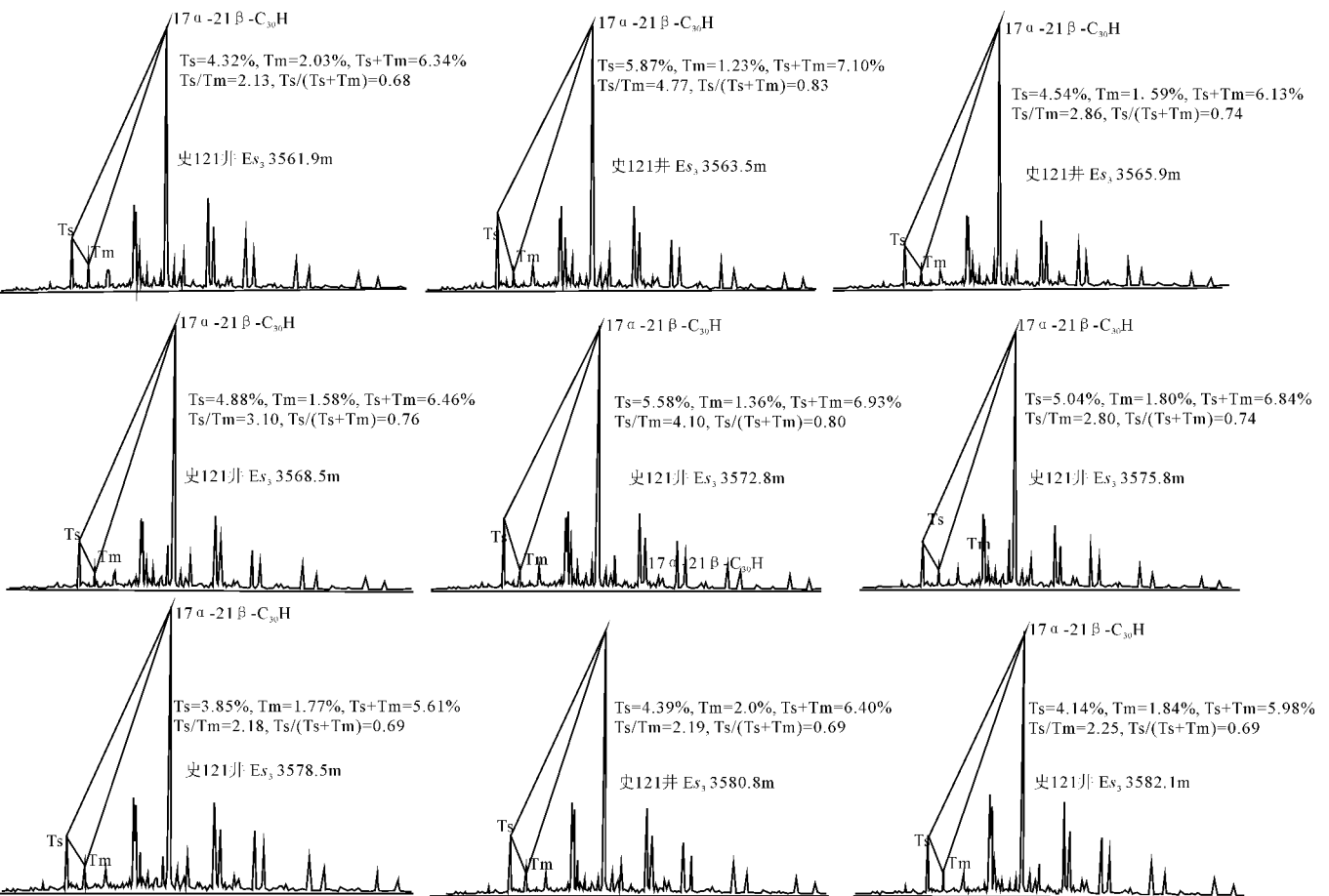


图 3 东营凹陷史 121 井 3 560~3 582 m 不同样品 191 质谱图分布

Fig 3 The distribution of mass spectrogram 191 of different rock samples across the depth from 3 560 m to 3 582 m from the Well Sh121 in Dongying sag

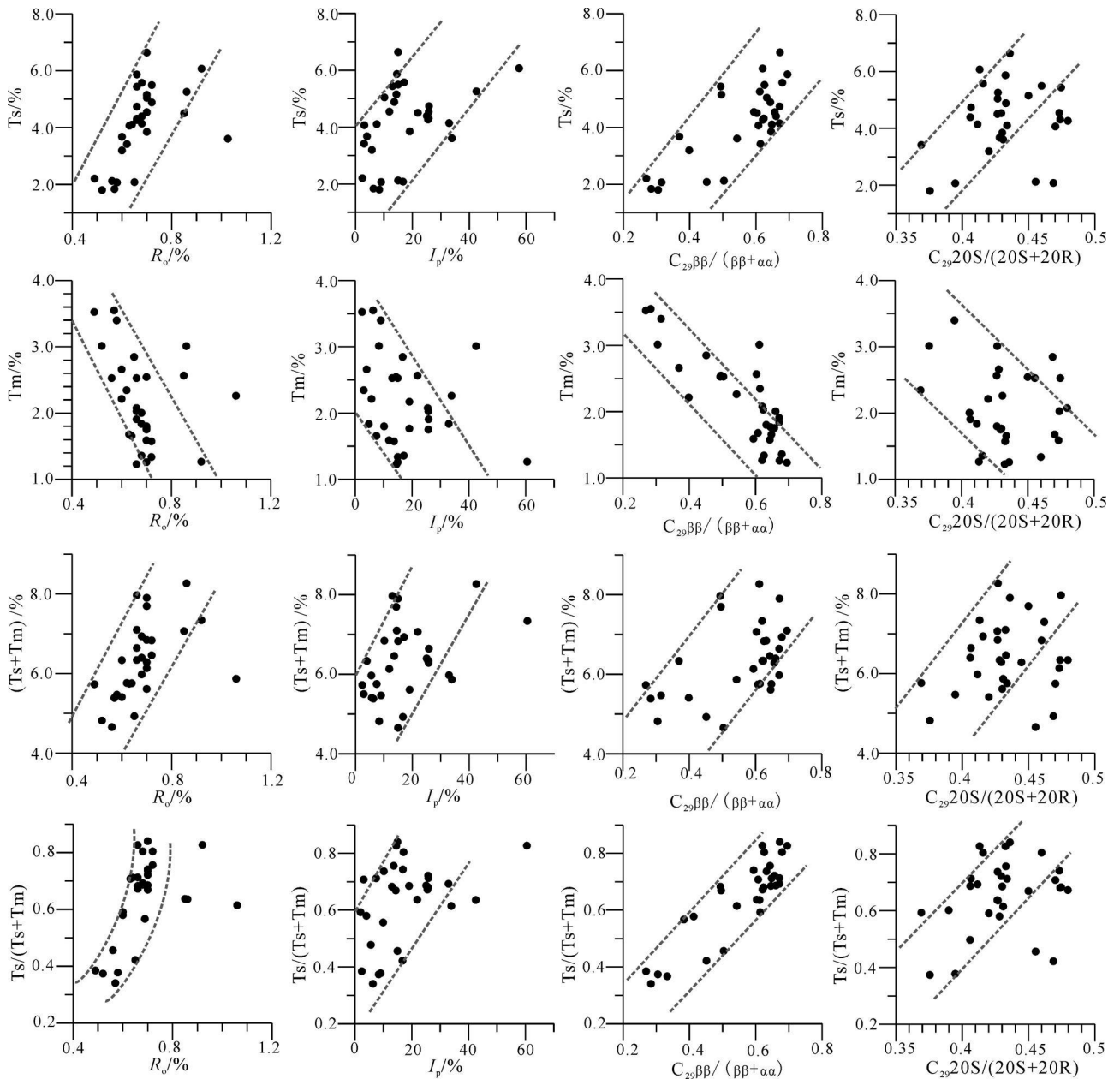


图 4 东营凹陷古近系 T_s 、 T_m 、 T_s+T_m 及 $T_s/(T_s+T_m)$ 与常用成熟度参数 R_o 、 I_p 、 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 、 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 相关性

Fig 4 The relations between R_o 、 I_p 、 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 、 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ and T_s 、 T_m 、 T_s+T_m 、 $T_s/(T_s+T_m)$ respectively from the tested samples in the Paleogene system in Dongying sag

用强烈, 以陆源生物输入为主, 而 T_m 常富集在煤系地层和沼泽相泥岩中, 与陆源生物来源有关, 使得该层段相对沙三段具有相对较高的 T_m 响应, 相应地也会造成 T_s/T_m 及 $T_s/(T_s+T_m)$ 的低值响应。

T_s 、 T_m 系列相关参数在研究剖面上的“逆转”特征反映出碳酸盐沉积环境对生物标志物成熟度参数的影响。 T_s 、 T_m 系列参数的分布趋势在 3.5 km 左

右开始发生“逆转”, 与所选样品在该井段碳酸盐含量的陡然增高有着良好的一致性。对所选样品井(丰 8 井、史 121 井)分析可知, 在 3.5 km 以上, 烃源岩层主要是钙质泥岩与粘土质泥岩互层, 而到 3.5 km 以下, 形成蒸发岩与泥岩共生体系, 石膏及岩盐含量大量增加。以郝科 1 井为例, 在郝科 1 井 3.5 km 左右向下发育膏岩、岩盐, 在该蒸发岩与泥岩共生体

表 1 东营凹陷不同层位 T_s 、 T_m 相关参数统计结果Table 1 The statistical result showing the distribution of T_s , T_m , T_s+T_m , T_s/T_m and $T_s/(T_s+T_m)$ in different members in the Paleogene system in Dongying sag

层位 (样品数)	T_s	T_m	T_s+T_m	T_s/T_m	T_s/T_{s+T_m}	
$E_k(7)$	分布范围	1 652~2 661	2 536~3 942	4 267~6 603	0 583~0 721	0 368~0 419
	平均值	2 18	3 282	5 462	0 664	0 398
$E_{s_4}(24)$	分布范围	1 801~9 66	1 267~5 068	4 328~14 734	0 517~4 792	0 341~0 827
	平均值	3 618	2 812	6 43	1 377	0 537
$E_{s_3}(27)$	分布范围	1 439~6 642	1 230~2 076	3 586~7 903	0 524~5 267	0 344~0 84
	平均值	3 825	2 179	6 003	2 125	0 619
总平均值	3 541	2 574	6 115	1 639	0 558	

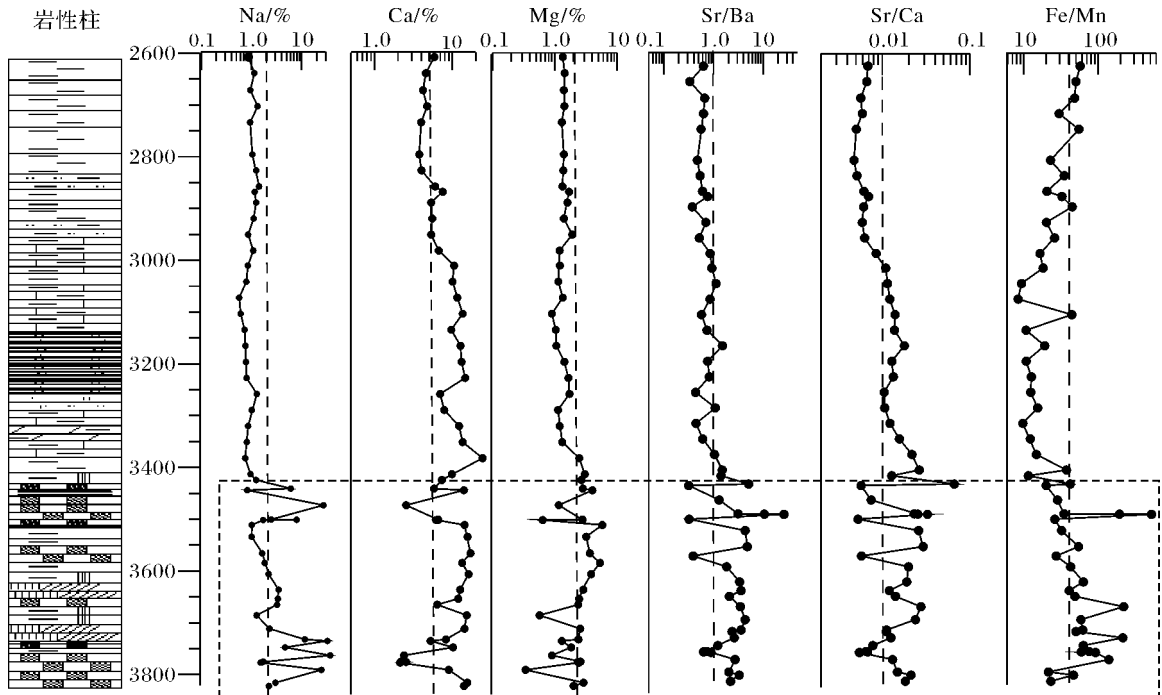


图 5 东营凹陷郝科 1 井古近系无机元素及相关比值分布

1. 泥岩, 2. 粉砂质泥岩, 3. 油页岩, 4. 钙质泥岩, 5. 泥质白云岩, 6. 盐岩, 7. 膏、盐岩

Fig 5 The sectional distribution of the content of mineral elements in the Paleogene system from Well Haoke-1 in Dongying sag

1. mudstone 2. silty mudstone 3. oil shale 4. calcic mudstone 5. argillaceous dolomite 6. salt rock 7. gypsum and salt rock

系中, 元素钙、钠等含量较上部层段明显增加, 元素特征比值 Sr/Ba 、 Sr/Ca 、 Fe/Mn 等出现显著的高值响应, 显示了典型的高盐环境 (图 5)。在这种高盐环境中, 高含量的碳酸盐与上述参数的“逆转”之间存在良好的藕合关系, 表明研究剖面中有机质热演化的这种“逆转”特征可能与碳酸盐矿物的抑制作用或迟缓效应相关^[14-15], 而碳酸盐矿物富集的源岩中有机质热演化的这种迟缓效应目前已有许多报道^[16-19]。

4 结论

同 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 、 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 等其他成熟度参数演化规律相似, C_{27} 三降藿烷成熟度参

数 T_s/T_m 及 $T_s/(T_s+T_m)$ 值在东营凹陷烃源岩高成熟阶段出现“逆转”规律。

C_{27} 三降藿烷成熟度参数的分布除与其同分异构体的生成速率、热稳定性及异构化作用密切相关外, 一些高分子化合物在裂解过程中向 T_s 的转化造成 T_s 含量的相对增加, 从而造成相关参数的变化。

热力作用是控制 T_s 、 T_m 相对含量及 T_s/T_m 、 $T_s/(T_s+T_m)$ 等相关参数分布的主要因素, 相关参数的逆转与碳酸盐矿物的富集密切相关, 碳酸盐矿物对 C_{27} 三降藿烷成熟度参数具有抑制作用或迟缓效应。

高含量的碳酸盐蒸发岩体与泥岩共生是我国东部湖盆古近系烃源岩中广泛存在的现象, 尤其对于东

营凹陷而言,目前沙四段中亚段盐湖相蒸发岩体正被视作有潜力的油气勘探层系, C₂₇三降藿烷成熟度参数在膏盐体系中这种“逆转”分布特征应值得重视。

参考文献 (References)

- Lawlis C A. The kinetics of biomarker reactions—implications for the assessment of the thermal maturity of organic matter in sedimentary basins [C]// Engel M H, Macko S A, eds. Organic Geochemistry: Principles and Application. New York: Plenum Press, 1993: 491-510.
- 朱光有, 金强, 戴金星, 等. 东营凹陷沙四段中部盐湖相烃源岩研究 [J]. 高校地质学报, 2004, 10(2): 257-266 [Zhu Guangyou, Jin Qiang, Dai Jinxing, et al. Investigation on the salt lake source rocks for middle Shasi Column of Dongying depression [J]. Geological Journal of China Universities, 2004, 10(2): 257-266].
- 陈中红, 查明, 金强. 东营凹陷牛 38 井沙河街组烃源岩生排烃评价 [J]. 地质科学, 2004, 39(3): 356-366 [Chen Zhonghong, Zha Ming, Jin Qiang. An investigation on generation and expulsion of hydrocarbon from source rocks of the Shahejie Formation in the Well Ni-38 Dongying depression [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(3): 356-366].
- 陈中红, 查明. 断陷湖盆超压封存箱形成机理与油气成藏机制 [J]. 地质科学, 2008, 43(1): 50-64 [Chen Zhonghong, Zha Ming. Mechanism of overpressured fluid compartment and its controlling on hydrocarbon migration and accumulation in faulted lacustrine basin: A case study from the Dongying Sag Bohaiwan Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2008, 43(1): 50-64].
- 陈中红, 查明, 金强. 牛 38 井烃源岩排烃门限的确定 [J]. 天然气工业, 2005, 25(11): 7-9 [Chen Zhonghong, Zha Ming, Jin Qiang. Determining the expelling hydrocarbon threshold of source rock of Well Ni 38 [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(11): 7-9].
- Requejo A G. Maturation of petroleum source rocks. II. Quantitative changes in extractable hydrocarbon content and composition associated with hydrocarbon generation [J]. Organic Geochemistry, 1994, 21: 91-105.
- Paul Farrinond, Alex Taylor, Nils Tehaes. Biomarker maturity parameters: the role of generation and thermal degradation [J]. Organic Geochemistry, 1998, 29(5): 1181-1197.
- Van Duin A C T, Sinnighe Damste J S, Koopmans M P, et al. A kinetic calculation method of homohopaneoid maturation: applications in the reconstruction of burial histories of sedimentary basins [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1997, 61: 2409-2429.
- Lu S T, Ruth E, Kaplan I R. Pyrolysis of kerogens in the absence and presence of montmorillonite. I. The generation, degradation and isomerization of steranes and triterpanes at 200 and 300 °C [J]. Organic Geochemistry, 1989, 14: 491-499.
- Abbott G D, Wang G Y, Eglington T I, et al. The kinetics of sterane biological marker release and degradation processes during the hydrous pyrolysis of vitrinite kerogen [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1990, 54: 2451-2461.
- Peters K E, Moldovan J M, Sundaraman P. Effects of hydrous pyrolysis on biomarker thermal maturity parameters: Monterey phosphatic and siliceous members [J]. Organic Geochemistry, 1990, 15: 249-265.
- Bishop A N, Abbott G D. The interrelationship of biological marker maturity parameters and molecular yields during contact metamorphism [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57: 3661-3668.
- Farrinond P, Teln S N. Three series of rearranged hopanes in Toarcian sediments (northern Italy) [J]. Organic Geochemistry, 1996, 25: 165-177.
- 段毅, 张辉, 王智平, 等. 柴达木盆地原油烃类地球化学特征 [J]. 石油实验地质, 2004, 26(4): 359-364 [Duan Yi, Zhang Hui, Wang Zhiping, et al. Study on the geochemistry characteristics of crude oil and hydrocarbon in Qaidam [J]. Oil Experimental Geology, 2004, 26(4): 359-364].
- 段毅, 郑朝阳, 吴宝祥, 等. 塔里木盆地塔河油田原油与源岩对比研究 [J]. 沉积学报, 2009, 27(1): 164-171 [Duan Yi, Zheng Chaoyang, Wu Baoxiang, et al. Study on the correlation on the crude oil and source rocks in Tahe oilfield in Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(1): 164-171].
- 卞良樵, 童童言. 碳酸盐岩与泥(页)岩有机质演化的差异及成因探讨 [J]. 石油勘探与开发, 1989, 16(2): 7-15 [Bian Liangqiao, Tong Zhenyan. Difference in the evolution of organic matters between carbonates and mudstone and its origin [J]. Petroleum Exploration and Development, 1989, 16(2): 7-15].
- 妥进才, 黄杏珍, 马万怡. 碳酸盐岩中石油形成的滞后现象 [J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(6): 1-5 [Tuo Jincan, Huang Xinzhen, Ma Wanyi. The lagging phenomenon of the petroleum generation in carbonate rocks [J]. Petroleum Exploration and Development, 1994, 21(6): 1-5].
- 解启来, 周中毅, 陆明勇. 碳酸盐矿物结合有机质——一种重要的成烃物质 [J]. 矿物学报, 2000, 20(1): 59-62 [Xie Qilai, Zhou Zhongyi, Lu Mingyong. Organic matter enclosed in carbonate minerals: A kind of important hydrocarbon producing matter [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2000, 20(1): 59-62].
- 赵桂瑜, 李术元, 刘洛夫. 碳酸盐岩干酪根催化降解生烃过程及动力学研究 [J]. 地质科学, 2005, 40(1): 47-54 [Zhao Guiyu, Li Shuyuan, Liu Luofu. A study on characteristics and kinetics of catalytic degradation from kerogen in carbonate rocks [J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(1): 47-54].

The Evolution and Its Control on Maturation Parameters Relative to C₂₇ Trisnorhopane in the Representative Faulted Lake-basin: A case study from Paleogene System in Dongying Sag

CHEN Zhong-hong ZHA Ming JIN Qiang
(China University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061)

Abstract The Paleogene system in Dongying sag was the representative faulted lake-basin and also the typical co-sedimentary system of evaporate and mud rocks in the Eastern of China. To investigate the evolution rule and its controlling factors on the maturation parameters relative to C₂₇ trisnorhopane, the deep formation in the Paleogene System of four deep wells (Well Feng-8, Fengshen-1, Shi-121 and Shi-126) in the sag were intensively cored, tested and dissected, and the maturation parameters relative to C₂₇ trisnorhopane in the main source rocks (the Member 3, Member 4 in Shahejie Formation and Member 2 in Kongdian Formation in the Paleogene System, the depth across from 2 700 m to 4 200 m) were investigated. The results demonstrate that in the depth across from 2 7 km to 3 572 km, the content of Ts and Ts+ Tm (relative to the whole content of ions in the test of mass spectrogram 191) and the value of Ts/Tm, Ts/(Ts+ Tm) increase with the buried depth added as a whole except the content of Tm, however in the depth across from 3 572 km to 4 2 km, the distribution of all the above parameters show the reversion. The research turns out besides the close relation between the maturation parameters relative to C₂₇ trisnorhopane and the generation velocity of the isomers, thermal stability and isomerization of the isomers, the cracking of some polymeric compounds contribute to the increase of the relative amount of the Ts, thermodynamic activity control the distribution of these parameters primarily, while the relative low value of Ts/Tm, Ts/(Ts+ Tm) in the salted deposition system show the influence of the sedimentary environment on the parameters, the well corresponding of the reversion of the maturation parameters to the high content of the carbonate minerals indicate the restrain and tardy effect of carbonate minerals on the thermal evolution of the organic matter.

Key words C₂₇ trisnorhopane; maturation parameters; biomarker; thermal evolution; carbonate rocks; Dongying sag