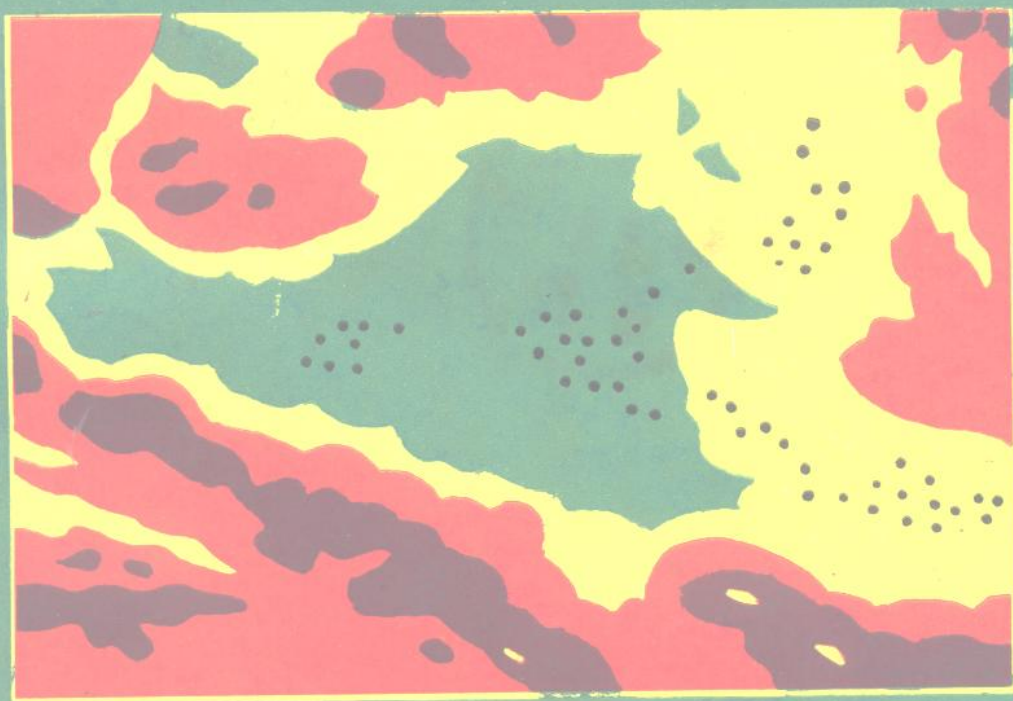


准噶尔盆地形成演化及油气形成

准噶尔盆地 石油有机地球化学研究

周中毅 盛国英 沈汝浪 闵育顺 著
林茂福 张鸿斌 宋明仁



科学出版社

71127

37805

准噶尔盆地形成演化及油气形成

准噶尔盆地 石油有机地球化学研究

周中毅 盛国英 沈汝浪 闵育顺 著
林茂福 张鸿斌 宋明仁

科学出版社

1989

前 言

新疆石油管理局与中国科学院地学部共同制定了“六五”期间开展石油地质研究的协作项目。在此项目中,地球化学研究所有机地球化学研究室承担了“古地温、有机质类型和演化及油源研究”专题。在五年工作中,得到新疆石油管理局及该局研究院领导的关怀和支持,以及杨文孝、杨斌、范光华等许多同志的帮助,使本专题得以按计划完成。本书就是这一课题的总结。

第一章论述有机质类型及生油(气)潜力。用多项有机地球化学指标分析了准噶尔盆地生油层的干酪根类型。在沉积盆地发展早期大量产出的火山岩中,经研究确证了二叠系风成组凝灰质页岩为优质生油岩。注意寻找这种新的生油岩类型将对扩大油气远景有着重要意义。探索了用氨基酸含量及种类来判别生油岩的质量。较详细地研究了油页岩中有机质的赋存状态,并阐明了有机粘土复合体在油页岩生油评价中的意义。人工热模拟了生油层的产气潜力并用于推论盆地深部有较大的天然气远景。本章由周中毅、林茂福、宋明仁编写。

第二章论述生油层的成熟度、古地温及生油期。从大量镜质组反射率测定工作中,认识到在盆地边缘的较差生油岩中,只有原地镜质组的反射率才能真正反映生油层的成熟度。从镜质组反射率及粘土、沸石类矿物的系统研究恢复了主要生油层的古地温。古地温梯度高于今地温梯度是本盆地的重要特征。用古地温地质模式新方法追索了上古生界生油层的生油期。推论结果认为,凹陷深部过成熟生油层在三叠纪时期曾经为克拉玛依油田提供大量原油。本章由周中毅、闵育顺、盛国英编写。

第三章为油源研究。文中系统介绍了生油岩及原油中的生物标志化合物及碳、氢同位素,进一步用干酪根热降解后的标志化合物的变化等新方法进行了油源对比。用沥青质在储集层中的热变试验、原油混合试验及数理统计等新方法论证了克拉玛依油田具有两个以上油源。东疆地区也具有多油源性质。这些原油对比新方法对于研究暂时取不到生油层样品的盆地是很有参考价值的,多油源的认识对于扩大本区油气勘探无疑是很有帮助的。国内首次在沉积岩中检出了苯并藿烷系列化合物。本章由盛国英、沈汝浪、张鸿斌、周中毅编写。

作者谨以此书贡献给在石油勘探第一线辛勤劳动的石油地质工作者,献给为推进石油地球化学发展的科研和教学工作者。

本项研究是在中国科学院地学部直接领导下进行的。中国科学院地球化学研究所、兰州地质研究所的领导及有关对本项工作给了很大支持和帮助。参加本项工作的还有:刘德汉、阎佐鹏、邵文兰、裴存民、韩林、温桂兰、王亮、卢家烂、彭平安等。部分化学分析及物理测试由叶继芬、彭文世、刘高魁、吉全法、邢爱华、向同寿、李承书、粟能先等完成。作者向他们一并致谢。

周中毅 盛国英

一九八七年七月

目 录

前言

第一章 有机质类型及生油(气)潜力	(1)
一、西北缘地区生油层的干酪根类型	(1)
二、南缘及东部地区生油层的干酪根类型	(7)
三、准噶尔盆地生气潜力预测	(10)
四、生油岩中的氨基酸	(14)
五、油页岩中有机质的赋存状况及其生油评价	(17)
六、结 语	(23)
第二章 生油层的成熟度、古地温及生油期	(24)
一、镜质组反射率(R^0)及生油层的成熟度	(24)
二、古地温地质模式研究方法	(29)
三、准噶尔盆地西北缘古地温及生油期	(37)
四、东疆地区主要生油层的古地温与生油期	(41)
五、准噶尔盆地古地温演化	(42)
第三章 准噶尔盆地油源研究	(47)
一、原油及生油岩中的标志化合物	(47)
二、干酪根热变试验与油源对比	(53)
三、原油及沥青质在储集层中的热变试验	(58)
四、数理统计	(62)
五、原油混合试验	(64)
六、原油及干酪根的氢、碳同位素	(66)
七、西北缘多油源论	(68)
八、东疆油源对比	(70)
参考文献	(73)

第一章 有机质类型及生油(气)潜力

石油勘探的实践及有机地球化学研究结果共同证实了工业油气藏是来源于沉积岩中的有机质。富含脂肪族有机分子的干酪根是产油能力最高的有机质。与此相反,极端贫氢的“死碳”型有机质几乎没有生油生气能力。因此,评价一个盆地的油气远景,首先要看它是否有足够的具有产油能力较高的有机质。

生油层中的干酪根往往是由各种有机颗粒(无定形有机质、藻质体、角质体、镜质体、碳丝等)组成,化学成分复杂多变,至今还不能依靠单一方法来确定有机质的类型。为了查明它们的类型及生油(气)潜力,必须进行多项物理、化学分析。我们应用了较为成熟的研究方法(元素分析、红外光谱、顺磁共振、热解生油评价仪等)综合分析研究准噶尔盆地主要生油层中的有机质类型。除此之外,我们还采用了碳、氢同位素,生油岩中的氨基酸及有机粘土复合体等新方法,探求认识有机质类型及其生油能力的新途径。

克拉玛依地区的油源层是哪些?它们的生油能力有多大?这个问题在1980年之前还不清楚。这几年来我们以盆地的西北缘为重点,采集了较多岩样,进行了多项分析研究。南缘地区在地表出露了二叠系至下第三系的生油层,这些样品的分析研究可以补充对西北缘生油层的认识。自东疆地区获得工业油流后,我们也进行了相应的分析研究。

一、西北缘地区生油层的干酪根类型

1. 干酪根的元素组成

生油岩中的有机质——干酪根,主要由C、H、O等元素组成。干酪根的元素特征反映了其原始母质类型、沉积物有机质的来源和演化特征。

准噶尔盆地西北缘地区不同干酪根元素分析数据见表1.1。

根据各种干酪根在图1.1中的区域位置,本地区各种干酪根可分为:

I型干酪根 包括风6井的3个样品,其H/C(原子比)高,为1.27—1.35,O/C(原

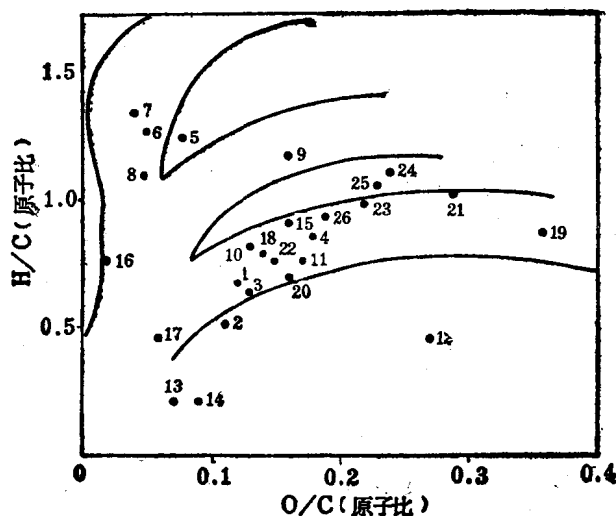


图 1.1 西北缘地区生油层干酪根元素组成及分类

表 1.1 准噶尔盆地西北缘地区干酪根元素分析

序号	样号	井号	层位	井深 (m)	重 量 (%)			原 子 比		干酪根 类 型
					C	H	O	H/C	O/C	
1	S-4	夏 6	T ₃	2207	71.95	4.01	11.63	0.67	0.12	I
2	S-9	夏 6	P ₃	3153	72.50	3.06	10.52	0.51	0.11	I
3	S-95	夏 14	P ₃	2651	73.90	3.86	12.62	0.63	0.13	I
4	S-76	风 1	T ₃ ¹	1391	61.24	4.33	15.06	0.85	0.18	I
5	S-139	风 6	P ₂	863	43.78	4.56	4.41	1.25	0.08	I
6	S-140	风 6	P ₂	3403	34.18	3.63	2.46	1.27	0.05	I
7	S-141	风 6	P ₂	3531	28.59	3.20	1.65	1.34	0.04	I
8	S-308	风 7	P ₂	3154	78.41	7.17	5.72	1.09	0.05	I
9	S-314	风 7	P ₂	3226	38.83	3.82	8.08	1.17	0.16	I
10	S-324	陆 1	J ₁ ³	2883	74.33	5.06	12.84	0.81	0.13	I
11	S-328	陆 1	J ₁ ³	3482	76.23	4.89	6.94	0.76	0.17	I
12	S-165	哈 山	C ₂	地表	44.50	1.68	15.84	0.45	0.27	I
13	S-164	哈 山	C ₂	地表	82.37	1.42	7.18	0.20	0.07	I
14	S-165	哈 山	C ₂	地表	75.52	1.31	9.17	0.21	0.09	I
15	S-157	乌 40	P ₂	3212	70.03	5.32	14.96	0.96	0.16	I
16	S-332	古 15	P ₁	1123	88.06	1.94	1.98	0.74	0.02	I
17	S-333	古 15	P ₁	1143	73.20	2.81	5.84	0.46	0.06	I
18	S-337	拐 114	T ₂ ³	2298	70.20	4.40	13.40	0.76	0.14	I
19	S-132	拐 148	P ₁	3174	40.32	2.91	19.31	0.88	0.36	I
20	S-133	拐 148	P ₁	3224	67.25	3.90	14.28	0.69	0.16	I
21	S-142	艾 1	J ₃ ¹	1825	63.42	5.41	24.25	1.01	0.29	I
22	S-320	艾 1	J ₃ ¹	2459	70.48	4.45	14.05	0.75	0.15	I
23	S-144	艾 1	J ₁ ¹	2635	68.30	5.49	20.40	0.96	0.22	I
24	S-145	艾 1	J ₁ ¹	2825	62.86	6.32	20.14	1.20	0.24	I
25	S-143	艾 1	T ₂ ³	3255	63.25	5.87	19.02	1.10	0.23	I
26	S-148	艾 1	T ₂ ³	3365	70.81	5.14	18.05	0.86	0.19	I

子比)低,约为0.04—0.08。这种干酪根主要是由藻质体无定形有机质所组成,它们具有典型的脂肪族性质,具有很高的生油能力。这是一种凝灰质、碳酸盐质页岩生油岩。

II型(混合型)干酪根 包括风7井的两个样品,H/C(原子比)为1.04—1.07,O/C(原子比)约为0.05—0.16。干酪根常见有孢子、角质和镜质体,也有一定数量的无定形有机质,具有较好的生油潜力。

III型干酪根 包括除风6井、风7井以外的其余21个样品,其H/C原子比为0.85左右,O/C原子比约为0.13。它们有较低的产油能力,但产气能力较高。

艾参1井从侏罗系至三叠系上统下白碱滩组的6个样品(表1.1),从总体上看是属于III型干酪根,局部层段下侏罗统八道湾组(J₁¹)和上三叠统下白碱滩组(T₃¹)等由于沉积环境的改变,混入一定量的腐泥型干酪根,属腐泥腐殖型,具过渡型干酪根特征,属于具有一定生油能力的干酪根类型。所有样品的干酪根类型已列于表1.1。

2. 生油岩的氢指数和氧指数

石油的主要组分是由于干酪根随埋藏深度增加和温度升高逐渐降解烃类而生成的。

因此生油岩中有机质的热解分析反映了干酪根的热反应过程。用生油岩热解(在 Rock-Eval 仪上)获得的氢指数和氧指数,对于干酪根进行分类得到了相当广泛的应用。

根据氢指数(I_H)和氧指数(I_O)划分干酪根类型是分别以 I_H 和 I_O 为纵、横坐标,编制不同类型生油岩演化途径的分类图解,其指标一般是:
I型 I_H 500—900, I_O 10—30; II型 I_H 400—600, I_O <60; III型 I_H <100, I_O 20—150。

本区59个岩样的热解分析资料编制的干酪根分类图如图1.2。

属于I型干酪根的有:风6井 P_2 的863、3405和3513m层段, I_H 为407—590mgHC/gC_{org}, I_O 为20—38mgHC/gC_{org};风5井 P_2 、3204m层段, I_H 为566mgHC/gC_{org}, I_O 为28mgCO₂/gC_{org},也属较好的生油类型的干酪根。

属于II型干酪根的有:风7井的 P_2 地层3188m、3219m、3459m三个层段。它们的 I_H 分别为522和587和550mgHC/gC_{org},它们属含腐殖质的腐泥型干酪根。

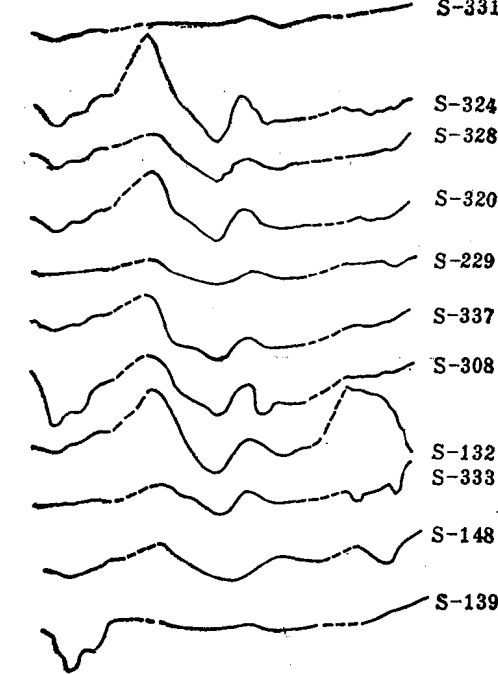


图 1.3 干酪根红外光
(样品号见表1, S-331为西参2井, E_{1-3} 4049m)

属于具有一定生油潜力的干酪根。

此外地表样品如玛纳斯湖 P_2 、 P_3 地层地表样,由于氧化作用氧指数明显增高,其 I_O 为

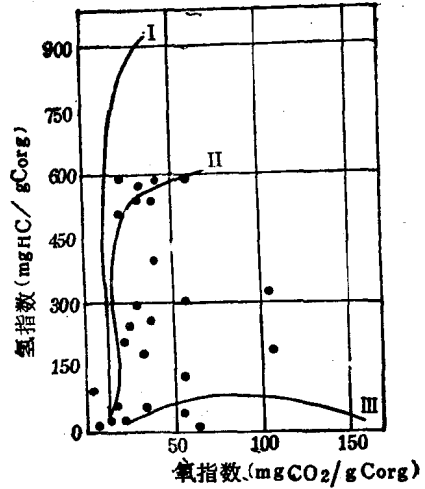


图 1.2 西北缘地区干酪根 I_H 、 I_O 分类

属于III型干酪根的有:夏14井265m的 P_2^2 ;拐114井2298m的 T_2^2 ;拐148井的3071m的 P_1 、3224m的 P_1 ;陆1井的3482m的 J_3^1 、2883m的 J_1^2 ;陆2井2724m的 J_3 ;古15井1143m的 P_1 ;西参2井3325m的 E_3 、4000m的 E_{2-3} ;风1井的1391m的 J_3^1 、1718m的 T_2^1 、1803m的 T_2^1 、2500m的 P_3 、2676m的 P_3 、3000m的 P_3 、3253m的 P_3 、3362m的 P_3 、3458m的 P_3 ;风3井3153m的 P_2 ;艾1井3660m、3977m、4024m、4091m、4147m、4252m、4298m、4355m、4402m、4522m、4570m、4570.78m、4628m、4052m、4698m的 P_3 层段和2549m的 J_1^2 、3148m的 T_3 。它们共同特点是氢指数 I_H 低,为70mgHC/gC_{org},氧指数 I_O 为120—300mgCO₂/gC_{org}。

在某些层段由于地质环境改变,掺入了不同比例的腐泥物质,使得 I_H 增高,出现混合型干酪根,如风7井3148m、3151m、3154m和3183m等 P_2 层段,它们 I_H 310—250mgHC/gC_{org}, I_O 25—35mgCO₂/gC_{org},

330mgCO₂/gC_{org}。

3. 红外光谱

应用红外光谱测定特征官能团即可了解干酪根母质类型。

西北缘地区各种类型干酪根红外光谱图见图1.3。

烃类有机物质的红外光谱的主要特征吸收谱带的归属见表1.2。

表 1.2 红外光谱特征吸收谱带归属

基 团	主要吸附峰 (cm ⁻¹)	归 属
饱和烃	2920 1460 2860 1380	甲基 (CH ₃)、次甲基 (CH ₂) 的伸展振动吸收 甲基 (CH ₃)、次甲基 (CH ₂) 的弯曲振动吸收
芳 烃	1600 740 810 860	芳核上共轭双键伸展振动吸收
杂 原 子	1700 1720 1710	醇、酮、羧基基团 C=O 基团的伸展振动吸收

不同类型干酪根的区别主要在于反映烷烃、芳烃和含氧官能团的三组吸收峰强度的比例关系上。

红外吸收峰比值相对百分数界限与干酪根类型分类见表1.3。

表 1.3 干酪根红外光谱指标

峰比值 类 型	$A = \frac{I_{2920} + I_{2860} + I_{1460} + I_{1380}}{I_{1460}}$	$B = \frac{I_{1600} + I_{860} + I_{810} + I_{740}}{I_{1460}}$	$C = \frac{I_{1710}}{I_{1460}}$
I 类	>75%	<15%	<15%
I 类 A 型	60—75%	15—30%	10—15%
I 类 B 型	45—60%	30—45%	10—15%
II 类	<45%	>45%	>10%

表1.4列出的各种比值表明,大多数样品的 A < 45%, B > 45%,应属于 III 类干酪根。C 值变化较大,未熟的干酪根(序号2,3)具有较高的氧基团,它们的 C 值均较高。

表1.5另列了四个指标,可从另一个角度判明各样品的干酪根类型。S-139白云质泥岩中的干酪根富含烃的 CH₃、CH₂ 官能团,它的含氧基团及芳核官能团很少。这表明它具有很高的产烃能力。S-157、S-161、S-151、S-143也略富 2920cm⁻¹ 的甲基、次甲基官能团。但其余样品均属于 III 型干酪根。

表 1.4 干酪根红外光谱数据

序号	井号	层位	井深 (m)	$A = \frac{I_{3280} + I_{2920} + I_{1460} + I_{1380}}{I_{1460}}$	$B = \frac{I_{1600} + I_{860} + I_{810} + I_{710}}{I_{1460}}$	$C = \frac{I_{1710}}{I_{1460}}$	类型
1	拐148	P ₁	3224	37.6%	53.2%	9.2%	I
2	艾1 ⁺	J ₁ ¹	2635	37.1%	49.1%	13.8%	I
3	艾1	J ₃ ¹	1825	26.8%	46.2%	26.9%	I
4	乌40	P ₂	3212	40.0%	53.2%	6.8%	I
5	艾1	T ₂ ²	3255	30.8%	65.4%	3.8%	I

表 1.5 干酪根红外光谱数据

序号	井号	层位	井深 (m)	样号	$\frac{1700\text{cm}^{-1}}{1600\text{cm}^{-1}}$	$\frac{2920\text{cm}^{-1}}{1700\text{cm}^{-1}}$	$\frac{2920\text{cm}^{-1}}{1600\text{cm}^{-1}}$	$\frac{1460\text{cm}^{-1}}{1600\text{cm}^{-1}}$	类型
1	风6	P ₂	863	S-139	1.0	3.6	3.27	0.91	I
2	拐148	P ₁	3224	S-133	2.08	1.0	0.39	0.19	I
3	乌40	P ₂	3212	S-157	5.00	2.40	0.67	0.06	I
4	艾1	J ₃ ¹	1825	S-142	14.4	0.44	0.43	0.07	I
5	艾1	J ₁ ¹	2635	S-144	4.75	0.84	0.53	0.13	I
6	艾1	T ₃	3148	S-151	3.0	1.85	0.51	0.03	I
7	艾1	T ₂ ²	3255	S-143	3.0	1.89	0.40	0.09	I

4. 自由基浓度

某些含碳物质如煤、石油中存在有顺磁共振现象。利用顺磁共振测定自由基浓度亦可以了解干酪根的类型。测定自由基浓度受某些因素影响，所以应用时往往与镜质组反射率参照使用(见图1.4)。

西北缘地区干酪根的自由基浓度数据详见表1.6。

从表1.6可见，当干酪根处于低熟阶段(R⁰小于0.5)时，不同类型的干酪根的自由基含量有较大的差别。Ⅲ型干酪根主要由芳香族有机化合物组成，具有较多的自由基。

风6井3个样品的自由基浓度低，属于I型干酪根，说明该样品是较好成烃干酪根类型，具有较高的生油潜力。其余大部分样品的自由基含量较高，反映Ⅲ型干酪根的芳香结构特征，大部分干酪根属于Ⅲ型干酪根。

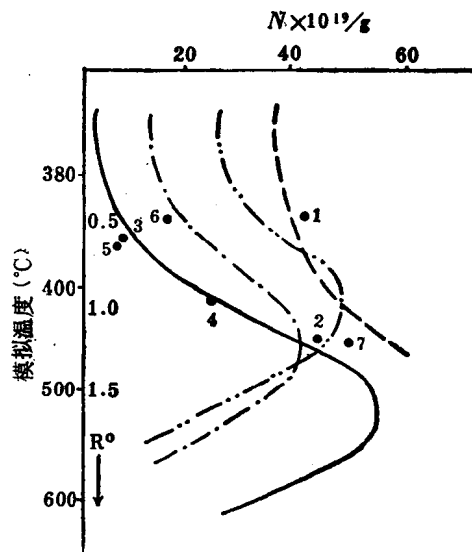


图 1.4 干酪根自由基浓度与镜质体反射率分类

图中 1、2、8、9 分别为(S-4)、(S-9)、(S-76)、(S-95)详见表1；3、4、5、6、7 分别为(S-45)、(S-46)、(S-47)、(S-48)、(S-51)详见表1.7。

表 1.6 干酪根自由基浓度 (顺磁共振) 分析数据

样 号	井 号	井 深 (m)	层 位	R ^o (%)	N × 10 ¹⁹ /g
S-92	煤		P ₃	0.52	5.30
S-65	煤		T ₂	0.49	1.96
S-97	煤		J ₂	0.40	0.83
X-1	沥青			0.05	1.05
S-139	风 6	863—865	P ₂	0.89	0.22
S-140	风 6	3403—3404	P ₂	1.02	0.39
S-141	风 6	3531	P ₂	1.12	0.26
S-132	拐 148	3174—3175	P ₁	0.99	0.96
S-133	拐 148	3224—3227	P ₁	1.15	0.97
S-142	艾参 1	1825	J ₂ ¹	0.28	2.01
S-144	艾参 1	2625	J ₁ ¹	0.52	1.66
S-145	艾参 1	2825	J ₁ ¹	0.60	3.43
S-146	艾参 1	2978	T ₂ ¹	0.63	0.61
S-147	艾参 1	3075	T ₃	0.65	0.49
S-151	艾参 1	3148—3151	T ₃	0.68	0.45
S-143	艾参 1	3255	T ₂ ²	0.72	2.41
S-148	艾参 1	3365	T ₂ ²	0.77	2.44
S-149	艾参 1	3710	T ₁	0.83	3.84
S-150	艾参 1	3885	P ₃	1.01	0.65
S-156	采参 1	3154—3156	P ₂		4.12
S-157	乌 40	3212—3213	P ₂		3.52
S-320	艾参 1	2459	J ₁ ²		1.44
S-308	风 7	3154	P ₂		1.34
S-314	风 7	3225	P ₂		0.50
S-324	陆 1	2883	J ₁ ²		1.73
S-328	陆 1	3482	J ₂ ¹		1.73
S-332	古15	1123	P ₁		0.23
S-333	古15	1143	P ₁		3.61
S-161	地表		C ₁		3.92
S-164	地表		C ₂		0.52
S-165	地表		C ₂		0.02
S-337	拐 114	2298	T ₂	0.57	1.53

5. 干酪根的显微有机颗粒组成

用透射光和反射光在显微镜下观察干酪根表明,各种有机颗粒组分在颜色、形状和轮廓等方面各有所异。

干酪根在镜下观察通常见到的是镜质组、丝质组和腐泥基质。它们在显微镜下有不同形态特征。

除了上述三种常见的显微组分之外,镜下还可鉴定出干酪根的其他显微组分,如木质镜煤、炭化的植物碎片、藻类菌类遗体、木栓质、角质层树脂体、孢子花粉等。

反射光下能较好地鉴别镜质组及丝质组分,对于细分散的腐泥基质及壳质组却难于观察。透射光可以补偿这一不足。我们把提纯了的干酪根制成薄片,在透射光下进行了观察。镜下见到的主要是两种形态不同的有机颗粒。一种是无定形的腐泥基质,它一般呈团块状或棉絮状;另一种为轮廓清晰、棱角清楚、偶见细胞结构的镜质组和丝质组。在

前面认为是 I 型干酪根的 S-139、S-140、S-141 及 S-45 4 个样品中,主要是由无定形颗粒组成,其含量大于 90%,镜质体和丝质体却很少。在那些被确定为 III 型的干酪根中,见到的主要是镜质组和丝质组,其含量可超过 70%,无定形颗粒很少。在 S-132、S-133 两个样品中同时见到较多的无定形颗粒和镜质组、丝质组,它们彼此混杂在一起,这表明它们是一种混合型的干酪根,即 II 型干酪根。

6. 小结

从上述元素分析、热解、红外、顺磁共振及显微镜下观察等方法已获得多方面的数据。综合这些数据可以得到以下结论:

(1) 风 6 井风成城组的 3 个凝灰质生油岩属于 I 型干酪根,它们富氢、贫氧,产烃能力很高,红外谱图上脂肪族基团的吸收峰强度很大,自由基浓度较低。它们的有机颗粒组成是以无定形有机质为主,可达 90% 以上。

(2) 拐 148 井 P_1 的两个生油岩可能属于 II 型或接近 II 型的 III 型干酪根。这两个岩样的热解分类图处于 III 型的区域,但均偏向于 II 型。镜下观察表明,它们含有较多的无定形有机质(约占 50%),同时也有不少腐殖质的有机颗粒。它们的自由基含量属于中等,低于 III 型干酪根但高于 I 型干酪根。因此,这两个生油岩可能属于 II 型干酪根。

(3) 艾参 1 井的侏罗系、三叠系。上二叠统(5000m 以上井段)中含以 III 型为主的干酪根。它们均贫氢、富氧,产烃能力很低。它们的有机颗粒组成是以丝质组、镜质组为主。但是该井 5163m 深处的岩样有了明显的变化。在 5000m 以上的岩样中未见黄铁矿,在 5163m 以下的岩样中出现了少量的黄铁矿,而且含有大量无定形有机颗粒。这些岩样由于热变程度较高,不便于进行各项有机地球化学分析,但它们的干酪根类型可能已向 II 型转变,这是值得今后注意的问题。

(4) 本区多数干酪根属 III 型干酪根,以产气为主,同时也具有以产油较高的 I 型干酪根如风 6 井和具有一定产烃能力的混合型干酪根如风 7 井 P_2 层段的干酪根。在今后勘探实践中应予以重视。

二、南缘及东部地区生油层的干酪根类型

1. 干酪根的元素分析

准噶尔盆地南缘及东部共分析样品 9 个,其元素分析结果见表 1.7。

应用 C/H(原子比)和 O/C(原子比)编制的干酪根分类见图 1.5。

控制干酪根向石油转化的最重要因素是它的氢含量,一般认为干酪根原始 H/C(原子比)高于 1.2 就具有高的生油能力,低于 0.8 则生油能力就很低。

乌鲁木齐地区妖魔山(S-45)油页岩(P_2)中的干酪根, H/C(原子比)为 1.25, O/C(原子比)为 0.03, 主要由深湖相沉积的藻质体类脂无定形体所组成,具有典型的脂肪族性质,具有很好的生油潜力,属于 I 型干酪根。

火南 1 井(S-304) 1170m(P_2p)的干酪根样品 H/C(原子比)为 1.35, O/C(原子比)为 0.05, 由具脂肪族性质的类脂无定形体所组成,具有较高的生油潜力,属于 I 型干酪根。

仓房沟(S-46、 P_2h) II 型干酪根岩样中含有 H/C、O/C(原子比)分别是 0.78 和 0.08, 由

表 1.7 干酪根元素分析表

序号	样号	产地	层位	井深 (m)	重 量 (%)			原 子 比	
					C	H	O	H/C	O/C
1	S-45	妖魔山	P ₂ ²		66.96	6.99	3.08	1.25	0.03
2	S-46	仓房沟	P _{2h}		77.80	5.06	8.52	0.78	0.08
3	S-47	大龙口	T ₂		67.19	5.50	16.54	0.98	0.18
4	S-48	小泉沟	T ₃		70.39	3.73	14.36	0.64	0.15
5	S-51	滴水泉	C ₁		77.47	3.92	9.82	0.61	0.10
6	S-161	滴水泉	C _{1d}		81.47	4.14	6.78	0.61	0.06
7	S-160	沙南1井	P ₁₊₂	1710	71.48	2.82	11.73	0.47	0.12
8	S-300	火南1井	J _{1b}		70.76	4.52	12.49	0.76	0.18
9	S-304	火南1井	P _{2p}	1807	78.85	8.98	3.66	1.35	0.05

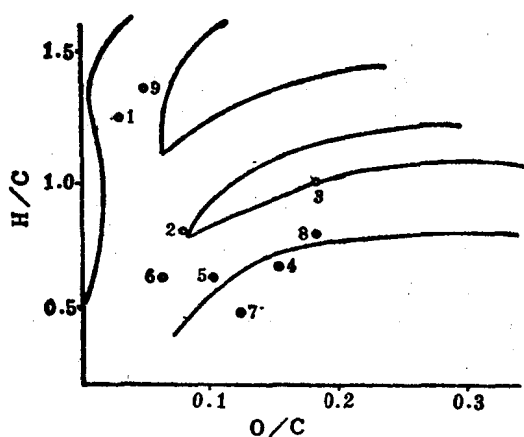


图 1.5 准噶尔盆地南缘、东部地区不同干酪根元素分类

来源于高等植物木质部的镜质体组成，以芳香族结构为主，也掺入少量类脂组物质，是以生气为主的干酪根类型。

大龙口 (S-47、T₂₋₃)，H/C、O/C (原子比) 分别为0.98和0.18；

小泉沟 (S-48、T₃)，H/C、O/C (原子比) 分别为0.64和0.15；

滴水泉 (S-51、C₁)，H/C、O/C (原子比) 分别为0.61和0.10。滴水泉 (S-161、C_{1d})，H/C、O/C (原子比) 分别为0.61和0.06。它们的O/C (原子比) 比较低，在图中位置反映出干酪根经历较高的热演化过程中氧的丢失突出；

火南1井 (S-300、J₁)，H/C、O/C (原子比) 分别为0.76和0.18。

以上7个样品均属Ⅲ型干酪根，以产气为主。

2. 生油岩的氢指数和氧指数

盆地南缘和东部地区热解分析数据按I_H、I_O的分类见图1.6。

根据热解分析结果，I型干酪根有：妖魔山油页岩 (S-45、P₂²)，其I_H较高，为457；I_O较低，为3。反映出该岩样中的干酪根富含脂肪族物质。热解时能产生大量的烃，其中S₁和S₂为74.96kg/t，生油潜力很高，因此S-45为良好的生油岩。

火南1井 (S-304、P_{2p}) 1807m，黑色泥岩，I_H为398、I_O为7，干酪根的生油潜力S₁和S₂为69.1kg/t，属于生油潜力很高的干酪根类型。

Ⅲ型干酪根包括：仓房沟 (S-461、P_{2h})，黑色泥岩，I_H为126、I_O为17，这种生油岩干酪根中混入少量的脂类物质，处于过渡位置，虽属Ⅲ型干酪根，但这种生油岩的干酪根却具有一定的生油潜力。

小泉沟 (S-48、T₃)，黑色泥岩，I_H为23，I_O为52，这种生油岩中的干酪根热解的烃量不

高,生油潜力差,以产气为主,干酪根类型属Ⅲ型。

滴水泉(S-51、C₁),黑色泥岩, I_H为29, I_O为27,干酪根热解时产烃低,生油潜力差,以产气为主,属于Ⅲ型干酪根。

滴水泉(S-9、C₁),页岩, I_H为31, I_O为9.9,干酪根热解时产烃低,生油潜力差,属于Ⅲ型干酪根。

滴水泉(S-161、C_{1d}),灰黑色泥岩, I_H为34, I_O为29,干酪根热解时产烃低,生油潜力差,为Ⅲ型干酪根。

彩1井(S-154、P_{2a}), 1470m,黑灰色粉砂质泥岩, I_H为8, I_O为120,为典型的Ⅲ型干酪根生油潜力差。

彩1井(S-156、P₂) 3154m,凝灰岩, I_H为6。 I_O为67,为生油潜力较差的Ⅲ型干酪根。

沙南1井(S-160、P₁₊₂), 1710m,暗灰色泥岩, I_H为3, I_O为18,属生油潜力较差的Ⅲ型干酪根。

火南1井(S-300、J_{1b}), 617m,为黑色泥岩, I_H为48, I_O为48,属Ⅲ型干酪根。

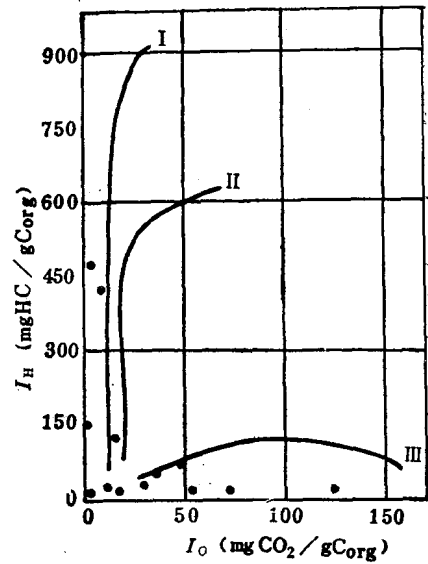


图 1.6 准噶尔盆地南缘及东部生油岩 I_H、I_O分类

3. 红外光谱

干酪根与溴化钾粉末均匀混合压片的红外吸收光谱(图1.7),可提供干酪根中各有机官能团的相对含量的信息。

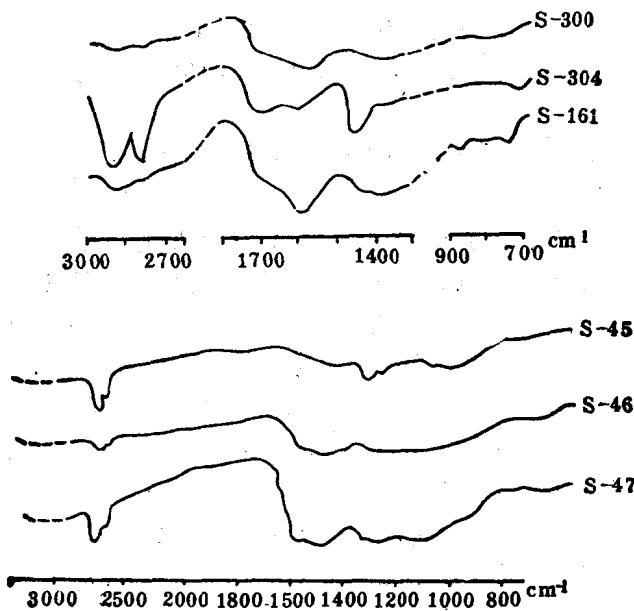


图 1.7 干酪根的红外吸收光谱

S-45富含 CH_3 、 CH_2 官能团(2920 cm^{-1}),它的含氧基团(1700 cm^{-1})及芳香核官能团(1600 cm^{-1})很少,属于I型干酪根。S-46含 CH_3 、 CH_2 官能团有一定生油潜力,为过渡型干酪根。S-47含有较多的 CH_3 、 CH_2 官能团,表明它们有较高的产烃潜力,属II型(混合型)干酪根(表1.8)。

表 1.8 盆地南缘三个干酪根的红外吸收相对比值数据

样 号	$\frac{1700\text{cm}^{-1}}{1460\text{cm}^{-1}}$	$\frac{2920\text{cm}^{-1}}{1700\text{cm}^{-1}}$	$\frac{2920\text{cm}^{-1}}{1600\text{cm}^{-1}}$
S-45	0.22	5.00	2.00
S-46	0.85	0.91	0.68
S-47	1.18	0.88	0.83

4. 干酪根的自由基浓度

干酪根的自由基浓度列于表1.9。

表 1.9 干酪根自由基浓度数据

样 号	井 号	井深 (m)	层 位	R^o (%)	$N \times 10^{19}/g$
S-154	彩 1	1470	P_2	1.22	1.49
S-158	彩 1	3154	P_2	1.75	4.12
S-161	滴水泉	地表	C_1	1.34	4.97
S-300	火南 1	617	J_1	0.55	1.26
S-304	火南 1	1807	P_2	0.97	0.55

火南 1 井(S-304)1807m的干酪根自由基浓度较低,自由基浓度为0.55。它的 H/C 、 O/C (原子比)及 I_H 、 I_O 分类都属于I型干酪根,具有高的生油潜力。

三、准噶尔盆地生气潜力预测

在准噶尔盆地腹部赋存着一套很厚的暗色地层,它们是中、下侏罗统,上三叠统及中、上二叠统的砂页岩。我们对这些地层有机质类型的研究表明,它们主要是III型干酪根。在盆地腹部,由于下第三系、白垩系加厚,这些地层大多已埋到5000m以下。这套地层的厚度达4000m以上,其中的III型干酪根和一些薄的煤层被深埋之后,将进入生气阶段。我们对这些干酪根做了热解气产率人工模拟试验,以估价它们的生气远景。

6个干酪根(五个III型,一个I型)样品分别做了热解气产量的试验。岩样抽提除去可溶有机质之后并经处理提纯出干酪根,干酪根密封在充氮的硬质玻璃管中,分别加热到450℃,加热时间为100h。这样的试验结果大体相当于生油末期及干气阶段。热解之后,测定产气量,分析热解气体的成分。现将分析结果列于表1.10。

S-148号样是艾参 1 井3365m T_2 的黑灰色泥岩,其他几个III型干酪根分别采自侏罗系、三叠系、上二叠统,它们的产气率也大致近似,S-141是采自风 6 井3531m的 P_2 地层,为

I 型干酪根。

S-148所产生的甲烷及H₂(600℃)当作可燃天然气来计算,它的产气量为:

表 1.10 干酪根热解产气率数据表

项目	样品 S-148		S-144		S-142		S-141		S-95		S-76	
	450	600	450	600	450	600	450	600	450	600	450	600
热解温度(℃)	450	600	450	600	450	600	450	600	450	600	450	600
甲烷 (%)	73.37	65.41	62.84	68.89	58.08	56.64	53.72	48.42	59.38	59.03	62.88	59.61
乙烷 (%)	1.87	0.00	3.10	0.00	2.39	0.00	3.76	0.00	0.18	0.00	2.79	0.00
H ₂ S (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	24.47	17.43	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂ (%)	11.88	17.15	16.62	12.56	23.88	23.40	4.90	8.88	24.76	14.77	13.54	12.68
N ₂ (%)	0.00	0.06	1.32	0.16	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00	0.00	0.84	0.39
H ₂ (%)	12.89	17.38	16.12	18.39	15.47	19.80	12.44	25.27	15.68	26.20	12.95	27.31
产气率(m ³ /t)	54.40	231.76	86.20	258.06	78.98	196.66	152	157.83	64.17	159.11	82.47	186.72
干酪根纯度 (%)	92.38		92.84		92.56		34.37		93.21		82.44	
纯干酪根产气率(m ³ /t)	58.88	250.87	92.85	277.96	85.38	212.47	442.24	459.20	68.84	170.70	100.03	226.49
岩性	灰黑色泥岩		黑灰色泥岩		黑灰色泥岩		白云凝灰质泥岩		灰黑色泥岩		灰黑色泥岩	
层位	T ₂ ³		J ₁ ¹		J ₂ ¹		P ₂		P ₂ ²		T ₃ ¹	
井号	艾1井		艾1井		艾1井		风6井		夏14井		风1井	
井深(m)	3365		2635		1825		3531		2651		1391	
干酪根类型	II		II		II		I		II		II	

$$250.87 \times (65.41\% + 17.38\%) = 207.69 \text{ m}^3/\text{t}$$

S-141的产气量为:

$$459.20 \times (48.42\% + 25.27\%) = 338.38 \text{ m}^3/\text{t}$$

这些地层中的干酪根类型有些比 S-148 要好些,含氢量高些,产气量也高些,有些薄煤层的有机质类型可能差些。平均来看,我们取其产气率为 200m³/t, 2000m 厚地层的干酪根平均含量取 0.5%。由此可以计算每一平方公里内这些地层的产气量。

$$2000\text{m} \times 1000\text{m} \times 1000\text{m} \times 2.5\text{t}/\text{m}^3 \times 0.5\% \times 200\text{m}^3/\text{t} = 5 \times 10^9 \text{ m}^3$$

准噶尔盆地面积 13 万平方公里,除去边缘埋藏较浅部分,暂取可产气面积为 5 万平方公里,天然气的聚集系数暂取 1%,全盆地干酪根成气的聚集量为 2.5 × 10¹² m³,以 1000m³ 天然气换算为 1 吨油,则相当于 25 亿吨油。

如果考虑到二叠系、石炭系的 II 型或 I 型干酪根在深埋以后所产生的天然气,再考虑到侏罗系、三叠系在盆地腹部有机质含量增高及类型变好,准噶尔盆地的产气量将更为可观。

近年来,国外发现了“深盆气”天然气藏新类型,它可以在盆地的向斜中储集。这种储集条件在准噶尔是大量存在的。因此,我们建议开展干酪根产气及“深盆气”的研

究。

为了进一步深入研究准噶尔盆地内不同母质类型有机质在不同演化阶段的成气规律,了解母质与气体产物的关系,进行了下列干酪根热模拟产气率研究,用于做试验的样品为:

- S-45: 妖魔山二叠系油页岩,
- S-158: 乌尔禾(风成城)沥青,
- S-304: 火南1井P₂P井深1807—1809m干酪根,
- S-324: 陆1井,井深2883—2886m干酪根,
- S-322: 陆1井,井深2265—2267m煤。

将样品装在玻璃管中,充氮密封,在常压下分别在350℃、450℃、550℃加热100h,冷却后进行产气计算,并分析气体成分。试验结果见表1.11和图1.8、图1.9。

通过实验得到以下认识:

350℃—550℃为不同有机质热降解大量产生气态烃的阶段,350℃以前是产油阶段,干酪根热演化成油过程也伴随产生少量气态烃,属于热成熟气。当温度高于350℃时,干酪根已进入高成熟阶段,液态烃开始裂解,产生各种气态烃,同时产生聚缩程度更高的固

表 1.11 热模拟气体产率数据

样 品	在各温度下样品热模拟的气体产率 (mL/g)		
	350 ℃	450 ℃	550 ℃
S-45	118	346	390
S-158	46.4	428	557
S-304	114	399	352
S-324	78.4	174	253
S-322	33.6	91.0	126

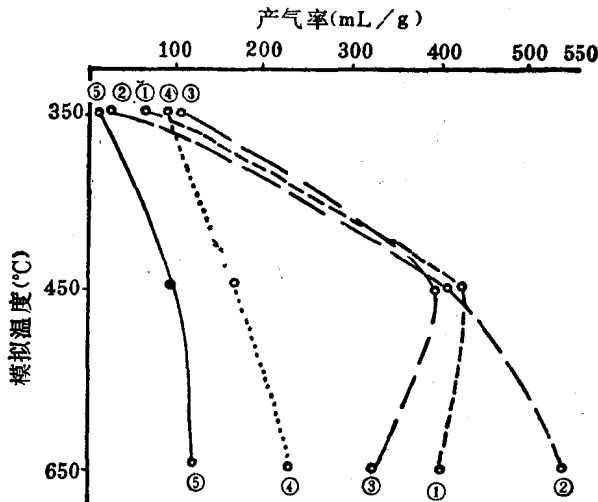


图 1.8 不同类型有机质热模拟产气率

- ① S-45 ② S-158 ③ S-304 ④ S-324 ⑤ S-322

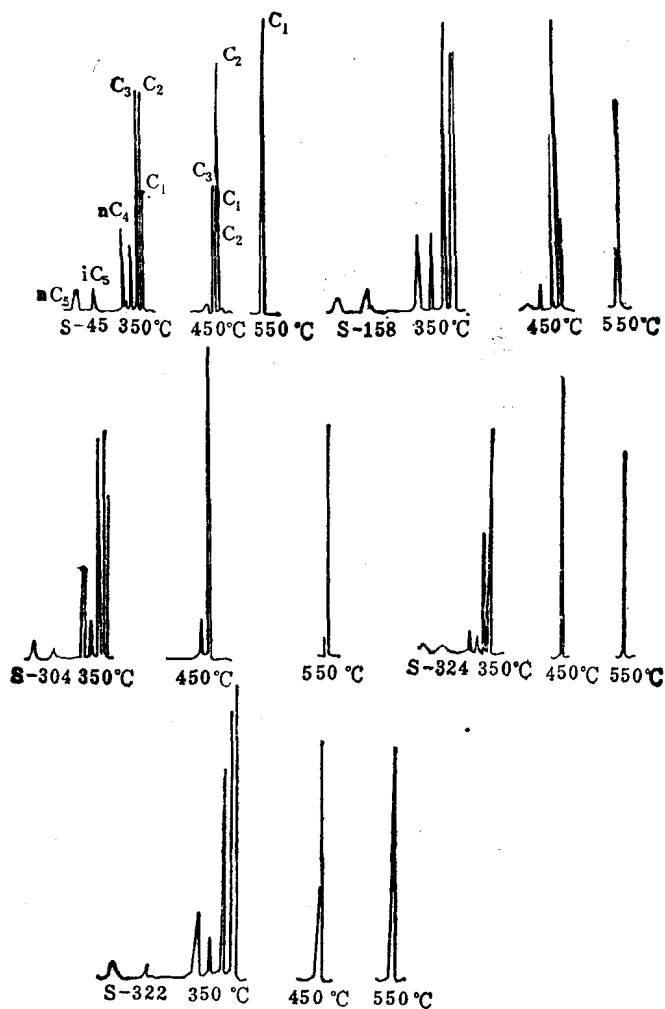


图 1.9 不同类型有机质热模拟气态烃组成的色谱图

态物质，产生大量气态烃。其中甲烷含量随模拟温度增加而增高， C_4 — C_5 重烃部分则随温度升高而减少，450℃以后仅有 C_1 — C_3 组分， C_4 — C_5 组分已消失，而陆1井S-324、S-322干酪根和煤则只含 C_1 — C_2 烃，这一现象反映不同类型干酪根在450℃以前已发生了剧烈的热化学反应，而使液态烃急剧转变为甲烷。到550℃，气态烃成分主要是甲烷，已进入过成熟阶段。

各样品在过成熟阶段天然气产量依次为乌尔禾沥青557mL/g；火南1井为352mL/g，妖魔山二叠系油页岩为390mL/g，陆1井的干酪根为253mL/g；各样品在450℃产生大量气体，550℃时产气量最高，火南1井P₂P干酪根在550℃时产气量略有下降。

图1.9示出了各样品在不同温度下热解气的组成。

陆1井的干酪根和煤样在350℃、450℃和550℃时产出的气体组成都以 CH_4 为主，而乌尔禾沥青、妖魔山油页岩和火南1井干酪根在350℃产出的气体组成以 C_2 和 C_3 组分为主，在450℃时仍有 C_2 和 C_3 的成分，到550℃则演变成以 CH_4 为主。以上实验结果说明不同类型的有机质其热解气体产物组成的演化是不同的，其气产量也不同，进一步证实Ⅲ型干酪