

浅水台地相碳酸盐岩的生烃潜力*

郜建军 李明宅

(地质矿产部石油地质研究所, 北京 100083)

胡惕麟 戈葆雄

(地质矿产部石油地质中心实验室, 江苏无锡 214151)

浅水台地相碳酸盐岩是中国海相碳酸盐岩最主要的沉积类型, 其沉积环境有利于生物的繁殖, 而不利于有机质的保存。由于沉积界面附近多为氧化环境, 所以有机质在其沉积和浅埋阶段被大量分解, 丰度较低, 类型变差。虽然有机质来源主要为低等水生生物, 但生烃潜力, 特别是液态烃生成潜力较低, 因此浅水台地相碳酸盐岩一般不能作为重要的油源岩而主要作为气源岩。

关键词 台地相 碳酸盐岩 有机相 生烃潜力 气源岩 生气高峰

第一作者简介 郜建军 男 38 岁 高级工程师 (硕士) 石油地质

扬子和华北地台以及塔里木盆地的中元古界至中生界中三叠统海相碳酸盐岩以克拉通浅盆地型沉积为主, 其沉积环境以浅水台地相为主, 由于演化程度较高, 目前以产天然气为主。

浅水碳酸盐岩台地, 有利于生物的繁殖, 而不利于有机质的沉积保存。由于沉积界面附近多为氧化环境, 有机质在其沉积和浅埋阶段被大量氧化分解, 保存下来的少量有机质又由于氧化作用而类型变差, 因此, 有机质丰度低, 虽然原始母质类型属腐泥型, 但元素分析表明现今干酪根类型以Ⅲ型为主, 少量Ⅱ型^[1]。上述特征表明浅水碳酸盐岩烃源岩的生烃潜力较低。在生烃规律上有别于正常腐泥型源岩。

1 生烃潜力

源岩的生烃潜力取决于有机质丰度和有机相类型。我国浅水台地相碳酸盐岩的有机碳含量一般小于 0.2%, 排除演化程度较高 (一般为高熟至过熟阶段) 造成的损失, 经恢复 (恢复系数取 1.3^[2]) 后一般也小于 0.25%, 低的有机质丰度决定了浅水台地相碳酸盐岩的生烃潜力较低。

关于浅水台地相碳酸盐岩的有机相类型, 我们同意 Jones 的观点^[3], 并参考其有机相分类, 以反映沉积有机质生烃潜力的 H/C 原子比和 I_H 值 (岩石热解氢指数) 为主要依据, 将有机相分为表 1 所示的 6 种类型。该分类中的 A、B 和 BC 型与 Jones 的分类基本可以对比, 我们仅对其 I_H 的划分标准进行了修改; 不同的是 Jones 认为初始 ($R_o \approx 0.5\%$) H/C 原子比小于 0.7 的有机相 (在其分类中为 D) 仅能生成数量微不足道的干气, 而我们认为初始 H/C 原子比为 0.6~0.7 的有机相仍具有相当的生气潜力, 故将 Jones 分类中 C 和 D 型有机相重新划分

* “八五”国家重点科技攻关项目一级专题研究成果 (编号: 85-102-01-02)

收稿日期: 1995-06-07

为 C₁、C₂ 和 D 型，其中 C₁ 和 C₂ 型都是有气源意义的有机相。浅水台地相碳酸盐岩有机相类型以 C₁、C₂ 和 BC 型为主，其生烃潜力与典型腐泥型有机质相比是偏低的，在成熟阶段的主要生烃产物也从以油为主过渡为以气为主。

表 1 有机相类型

有机相	氧化还原相	初始 H/C 原子比 ($R_o \approx 0.5\%$)	初始 $I_H/\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$	母质类型	干酪根类型 ^①	成熟阶段 主要产物
A	还原-强还原	≥ 1.35	600~900	腐泥型	I	油
B	还原-弱还原	1.2~1.35	450~600	腐泥型或含腐殖腐泥型	Ⅰ _A	油
BC	弱氧化	1.0~1.2	300~450	腐泥型或含腐泥腐殖型	Ⅰ _B	油和气
C ₁	弱还原-氧化	0.8~1.0	150~300	腐泥型或含腐泥腐殖型	Ⅱ _A	气和少量油
C ₂	氧化-强氧化	0.6~0.8	50~150	腐泥型或腐殖型	Ⅱ _B	气
D	强氧化	0.4~0.6	<50	腐泥型或腐殖型	Ⅳ	少量干气

①根据元素组成和热解分析数据 (I_H 和 I_o) 确定的干酪根类型。

通过对 22 个未熟或低熟样品 ($R_o < 0.6\%$) 的热模拟实验建立了源岩 I_H (氢指数) 与生气潜力的定量关系 (图 1)：

$$Q = 0.7035 I_H + 27.45$$

式中 Q 为源岩生气潜力； I_H 为源岩氢指数。由此获得不同有机相的生气潜力 (表 2)。

表 2 不同有机相的生气潜力

有机相类型	初始 $I_H/\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$	生气潜力/ $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$
A	600~900	450~661
B	450~600	344~450
BC	300~450	239~344
C ₁	150~300	133~239
C ₂	50~150	63~133
D	<50	<63

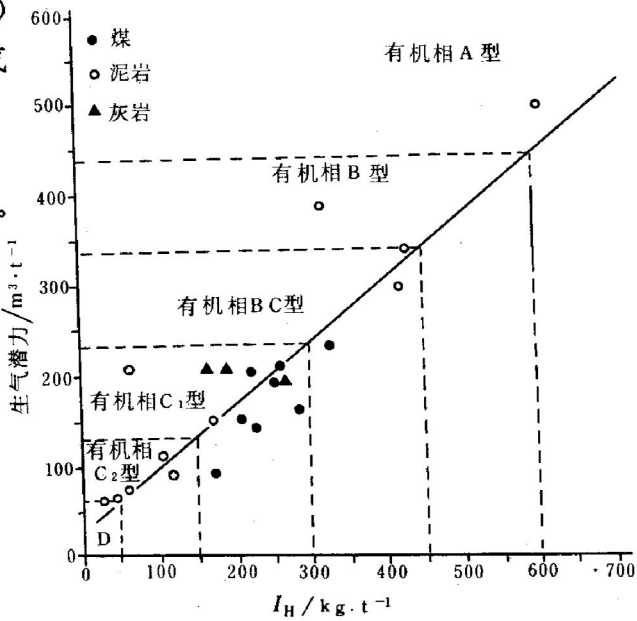


图 1 源岩氢指数与生气潜力关系图

据有机相判断，浅水台地相碳酸盐岩的生气潜力一般介于 63~344 m³/t 之间，国内浅水台地相碳酸盐岩 BC 型和 C₁ 型的模拟生气潜力为 193~335 m³/t (表 3)，符合有机相判断的生气潜力。最大液态烃产率为 40~134 kg/t (表 3)，这一数据与陆相腐殖型或含腐泥腐殖型干酪根的液态烃潜力相当。

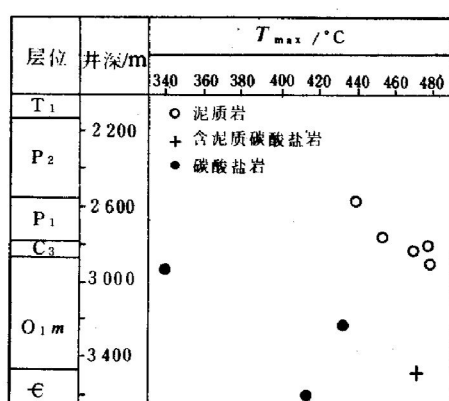
浅水台地相碳酸盐岩有机质的生烃潜力模拟结果打破了过去对海相碳酸盐岩有机质生烃潜力的认识，因此，在计算一个地区碳酸盐岩源岩的生烃量时，应首先根据其沉积环境和有机质性质确定其有机相类型，然后再选择适当的生烃率参数进行计算；在勘探区的选择上，也应充分考虑不同沉积环境的海相碳酸盐岩源岩的生烃潜力的差别，这对于提高勘探成功率是重要的。

表 3 中国浅水台地相碳酸盐岩的热模拟生烃潜力

样品地点	时代	有机相	R_o (%)	最大液态烃产率/kg·t ⁻¹	最终生气率 m ³ ·t ⁻¹
塔里木盆地巴 4 井 *	C	BC	0.42	40	335
江苏伏牛山 *	T ₁	C ₁	0.57	81	205
西藏特日嘎瓦 **	J	C ₁	0.26	—	193
江苏句容坳陷 ^[4]	T ₁	C ₁	0.57	134	208

2 碳酸盐岩有机质的演化生烃特点

2.1 热演化速率

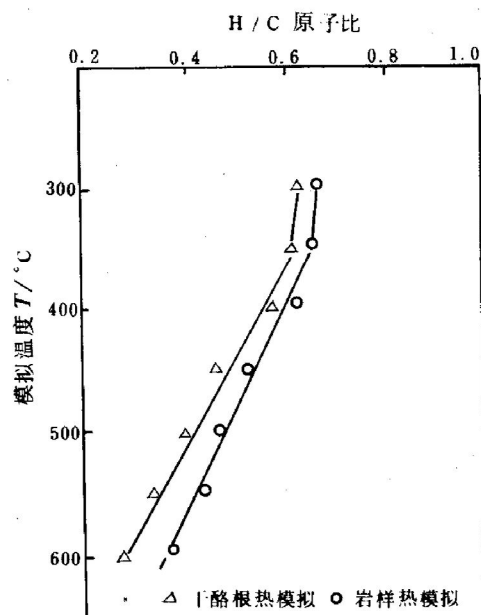
图 2 鄂 1 井古生界岩石热解 T_{max} 剖面

碳酸盐岩有机质的热演化速率比泥质岩慢,许多研究者注意到了这一现象^[6]。华北地台下古生界顶部碳酸盐岩的有机质热演化程度常低于上覆上古生界煤系泥岩,例如鄂尔多斯盆地许多钻井中的下古生界碳酸盐岩热解最高峰温(T_{max})反而低于上古生界泥质岩(图 2),但当碳酸盐岩含泥质较多时,这一差别趋于消失。

对上述现象的解释以前都归因于碳酸盐岩中缺少粘土矿物对有机质的催化作用,但这只是原因之一(也可能是主要原因),另一个原因则是碳酸盐岩中的有机质有相当部分为晶包、包体^[6]或其它形式

的束缚有机质,从而降低了对热的敏感度,即活化能增高。图 3 显示随模拟温度的增高,岩样干酪根 H/C 原子比(先模拟后提取干酪根测元素)和富集干酪根 H/C 原子比(提取干酪根模拟后测元素)都逐渐减小,但同一温阶前者始终大于后者,表明岩样干酪根的演化速率比其提取干酪根的演化速率慢,说明有机质在碳酸盐岩中的热演化是受抑制的。热解生烃动力学参数对上述现象给予了定量解释:

(1) 碳酸盐岩有机质在主要生烃阶段(第一温区)的表观活化能(E)和视频率因子(A)明显高于提取干酪根的相应值,而且这种差别随着有机质丰度的降低而增大,但进入高熟阶段(第二温区)以后差异趋于消失(表 4, 表 5),这表明碳酸盐岩中有机质的抑制作用主要表现在成熟阶段,且随着有机质丰度的降低而抑制作用增强。

图 3 铁岭组岩样和干酪根热模拟结果比较图^[7]

* 程克明. 烃源岩热模拟实验研究. 1989

** 李执. 塔里木盆地东北地区生油与演化热模拟研究. 1989

表 4 干酪根热解生烃动力学参数比较^[7]

样 品		第一温区		第二温区	
		E/kcal · mol ⁻¹	A/s ⁻¹	E/kcal · mol ⁻¹	A/s ⁻¹
铁岭白云质灰岩	岩样	28.19	1.6×10 ⁶	5.57	0.1
铁岭白云质灰岩	干酪根	21.49	1.0×10 ⁴	5.94	0.1
青龙灰岩	岩样	46.80	2.0×10 ¹²	4.73	0.1
青龙灰岩	干酪根	30.59	1.6×10 ⁷	5.00	0.1
安 29 井沙三段泥岩	岩样	28.12	4.0×10 ⁶	—	—
安 29 井沙三段泥岩	干酪根	34.65	1.0×10 ⁹	—	—

表 5 对比样品的原始数据^[7]

采样点	井深/m	时代	岩性	Corg (%)	干酪根 类型	R _o (%)	T _{max} /℃	干酪根	
								I _H	I _O
冀北坳陷	地表	P ₂	黑色白云质灰岩	1.69	I	1.21	446	124	8
苏南句 10 井	1 190~1 200	T ₁	深灰色泥晶灰岩	0.28	I	0.57	439	290	23
冀中安 29 井	1 811~1 818	E ₃	暗色泥岩	0.69	I _A	0.41	428	504	176

(2)表5中江苏青龙灰岩与冀中沙三段泥岩干酪根类型和成熟度相似,热解计算表明,在主要生烃阶段(第一温区)二者提取干酪根的动力学参数是相近的(表4),但二者岩石热解动力学参数却向两个方向变化:灰岩动力学参数比其干酪根显著增大,泥岩动力学参数则比其干酪根明显减小。这充分说明了碳酸盐岩和泥岩对有机质热反应所起的作用不同。

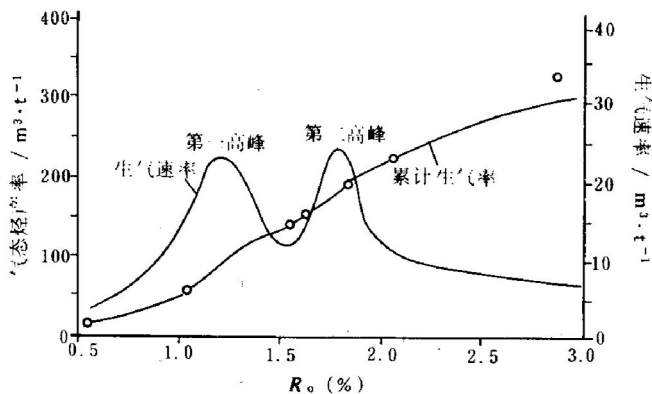


图 5 塔里木盆地巴 4 井石炭系灰岩热模拟生气率曲线

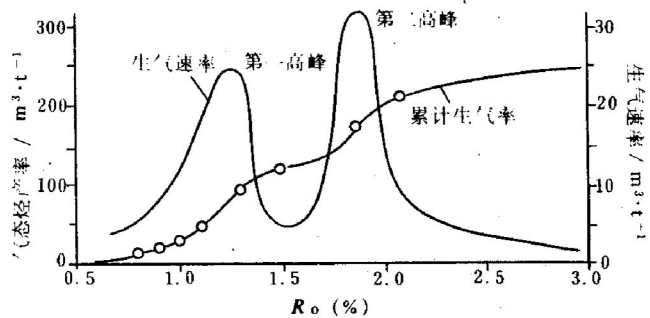


图 4 江苏青龙组灰岩热模拟生气率曲线

2.2 主要生气阶段和生气高峰

根据江苏下三叠统青龙组灰岩的热模拟资料*,主要生气阶段 R_o 介于 1.0%~2.1% 之间(图4),并出现两个生气高峰,一个位于成熟末期,一个位于高成熟晚期。塔里木盆地巴 4 井石炭系灰岩热模拟**的主要生气阶段 R_o 介于 1.0%~3.0% 之间,在相似位置也出现了两个生气高峰(图5)。

上述事实表明,碳酸盐岩的主要生气阶段比泥质岩有所推迟, R_o 大概介于 1.0%~3.0%

* 李执,塔里木盆地东北地区生油与演化热模拟研究,1989

** 程克明,烃源岩的热压模拟实验研究,1989

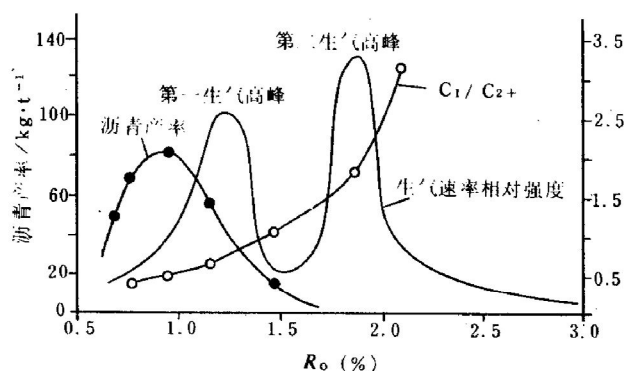


图6 青龙组灰岩生气高峰与沥青产率和干燥系数的关系

之间,与国内外绝大多数碳酸盐岩气田源岩的演化程度吻合^[8]。并可能具有两个生气高峰的特点:第二高峰为主,大约位于高成熟晚期(R_o 1.7%~1.9%),比泥质岩的生气高峰晚;第一高峰为次,大约位于成熟末期(R_o 1.2%~1.3%)。第一高峰显然与可溶沥青(或原油)的早期裂解有关,第二高峰除与可溶沥青的进一步裂解有关外,与重烃气的裂解也有关(图6),此外其是否与碳酸盐岩中部分束缚有机质的释放并裂解生气有关须进一步研究。

3 浅水台地相碳酸盐岩的生烃特点

(1) 浅水台地相碳酸盐岩的有机碳含量绝大多数小于0.2%,少数为0.2%~0.3%,即使经过成熟度恢复大多数也低于0.25%,说明大多数浅水台地相碳酸盐岩不能成为重要的生油岩,只能作为生气岩,其有机碳含量下限一般为0.08%。

(2) 浅水台地相碳酸盐岩有机相类型以 C_1 , C_2 和BC型为主,极少B型,绝大多数有机质贫氢富氧,富含氧官能团和杂原子,烷基侧链短,决定了其液态烃潜力小。浅水台地相碳酸盐岩有机质的热模拟结果表明液态烃产率为40~134 kg/t,仅相当于陆相腐殖型。这么低的液态烃产率再加上低的有机质丰度,决定了液态产物很难大量运移离开源岩,只有当温度升高裂解为气态烃后才能大量运移。若有效生油岩的可溶沥青浓度下限定为 300×10^{-6} (泥岩为 500×10^{-6}),最大液态烃产率取模拟最高值134 kg/t,则反推浅水台地相碳酸盐岩作为有效生油岩的有机碳含量下限应为0.22%,大多数浅水台地相碳酸盐岩达不到这一下限值。

(3) 碳酸盐岩中有机质的热演化速率较慢,演化生烃需要较高的温度,而较高的温度有利于生成气态烃。

(4) 通过对我国陆相生油岩(含I型或 I_A 型干酪根)的热模拟结果,液态产物的裂解是生气的主要途径,大约50%~60%的天然气来自成熟阶段液态产物的裂解;而浅水台地相碳酸盐岩总产气率中只有20%~25%来自成熟阶段液态产物的裂解,这一特点与含腐殖型和含腐泥腐殖型干酪根的泥质岩相似,而后者已证明是以生气为主的源岩。

从世界石油勘探实践来看,尽管浅水台地相碳酸盐岩分布广泛,但没有一个重要的储量较大的油田(藏)是以浅水台地相碳酸盐岩作为主要油源的。我国下扬子地区三叠系浅水台地相碳酸盐岩热演化处于成熟阶段(R_o 0.57%~1.28%),但迄今尚未发现重要的油藏,仅在句容盆地发现了少量油流;四川盆地勘探程度较高,中、下三叠统浅水台地相碳酸盐岩有一些仍处于成熟晚期至高成熟早期,也未发现重要的油藏。

因此,作为一个领域来看,可以认为浅水台地相碳酸岩源岩难以成为重要的油源岩,而可以作为气源岩,气的生成方式也主要是源岩直接生气,而不是通过油藏中的油裂解生气。这一认识可能对于了解碳酸盐岩气藏的成藏规律以及选择勘探目标有一定参考意义。

参 考 文 献

- 1 邵建军,李明宅.我国海相碳酸盐岩的有机相及其生气潜力.见:地质矿产部石油地质研究所编.石油与天然气地质

- 文集, 第4集——中国天然气地质研究. 北京: 地质出版社, 1994. 65~77
- 2 郝石生. 对碳酸盐生油岩的有机质丰度及其演化特征的讨论. 石油实验地质, 1984, 6 (1): 67~70
- 3 Jones R W. Comparison of carbonate and shale source rocks. In: Palacas J G ed. Petroleum geochemistry and source rock potential of carbonate rocks. AAPG Studies in Geology, 1984, (18): 163~180
- 4 郝石生, 贾振远. 碳酸盐岩油气形成和分布. 北京: 石油工业出版社, 1989. 144~148
- 5 周中毅, 贾蓉芬. 碳酸盐岩生油岩的有机地球化学、岩石学特征. 地球化学, 1974, 3(4): 278~298
- 6 傅家谟, 贾蓉芬. 碳酸岩分散有机质的基本存在形式、演化特征与碳酸岩地层油气评价. 地球化学, 1984, 13 (1): 1~9
- 7 郝石生, 高耀斌, 张有成等. 华北北部中-上元古界石油地质学. 山东东营: 石油大学出版社, 1990. 13~51

HYDROCARBON GENERATION POTENTIAL OF CARBONATE ROCKS IN SHALLOW PLATFORM

Gao Jianjun Li Mingzhai

(Institute of Petroleum Geology, MGMR, Beijing)

Hu Tilin Ge Baoxiong

(Central Laboratory of Petroleum Geology, MGMR, Wuxi, Jiangsu)

Abstract

The carbonate rocks of shallow platform facies is the primary sedimentation type in China's marine carbonate rocks. Its sedimental environment favoured the propagation of organisms but did not favour for the preservation of organic matter. Since sedimental boundary surface was near oxidizing *milieu*, large amount of organic matter was resolved during deposition and shallow burying process. This resulted in lower abundance and poor types of organic matter. Though the organic matter come from lower grade aquatic lives, hydrocarbon generation potential, especially liquid hydrocarbon generation potential is quite low. So it is suggested that, shallow platform carbonate rocks could not be considered as important oil source rocks but could be taken as gas source rocks.