

深层油气形成的若干问题探讨

段毅 王先彬

(中国科学院兰州地质研究所, 气体地球化学国家重点实验室 兰州 730000)

摘要 研究和讨论了与深层油气形成有关的液态烃生成最高温度极限、压力作用和生油体系性质。认为, 在适合的地质地球化学条件下, R_o 为 7.0%~8.0% 以前, C_{15+} 烃类仍能稳定存在, 分散有机质仍具有生烃能力, 高压和封闭的生油体系抑制了分散有机质向烃类的转化, 阻碍了 C_{15+} 烃类的裂解。

关键词 深层油气 成因 压力 生烃死亡线 生油体系性质

世界上已在 21 个盆地中发现了 75 个埋深大于 6 000 m 的工业油气藏, 这种油气藏主要分布在美国、前苏联、法国、委内瑞拉和阿联酋。我国也在塔里木盆地、四川盆地、冀中坳陷等发现了许多埋深大于 5 000 m 的工业油气藏。这些深层油气的发现和研究, 对传统油气理论的许多方面提高出了质疑。因为按照传统的油气形成理论, R_o 为 0.5%~0.6% 时, C_{15+} 烃类就开始形成, $R_o=0.9\%$ 时达到最大值, R_o 为 1.35% 时, 所有 C_{15+} 烃类被分解, $R_o>4.0\%$ 时, 有机质就变质形成石墨。可是, 一些深层油气藏、超深钻岩心和高温高压模拟实验研究结果都显示, 在适合的地质地球化学条件下, 当 $R_o>1.35\%$ 时, 不仅 C_{15+} 烃类能稳定存在, 而且烃源岩仍可生成可观数量的 C_{15+} 烃类。可见, 传统的油气理论需要发展和完善, 深层油气形成机理需要去探索。本文根据作者热模拟实验结果, 并结合前人有关深层油气研究资料, 对深层油气形成的几个重要问题进行了讨论。

1 分散有机质液态烃生成的死亡线

我们对塔里木盆地低成熟泥岩和灰岩生油岩进行了热模拟实验研究, 结果表明, 在 350~450℃ 的高成熟—过成熟阶段, 仍然有液态烃生成, 液态烃产率在泥岩和灰岩中分别为 7.8~16.0 kg/tCorg 和 7.1~18.7 kg/tCorg。液态烃中的正烷烃以 C_{15+} 烃类为主(图 1), 并含有丰富的类异戊二烯烷烃、烷基环己烷、三环萜烷、五环萜烷以及少量的甾烷。这说明在高温条件下, 烃源岩中分散有机质仍然可以生成 C_{15+} 烃类。这种认识也被世界上一些超深钻岩心的地球化学研究资料所证实。表 1 及 2 分别为美国俄克拉何马州 1 号井和得克萨斯州 1 号井部分岩心有机地球化学资料(Price 等, 1981, 1993)。从中可以看出, 俄克拉何马州 1 号井岩心, 在 R_o 为 4.8%~6.0% 时, 岩心中可溶有机质仍然稳定存在, S_2 含量显示了干酪根仍然具有一定的生烃潜力。得克萨斯州 Jacobs—1 号井中岩心 R_o 在 4.0%~5.0% 之间, 同样可溶有机质稳定存在, 干酪根具有一定的生烃潜力。同时, 可溶有机质饱和烃以 C_{15+} 为主(图 2)。Price(1993)对美国 4 个超深钻井岩心中 C_{15+} 烃类和可溶有机质与 R_o 的关系进行了研究

收稿日期: 1999-09-28

(图3),结果发现,在 $R_o=7.0\% \sim 8.0\%$ 时, C_{15+} 烃类还能达到可测浓度,并认为这个 R_o 值为 C_{15+} 烃类的死亡线。

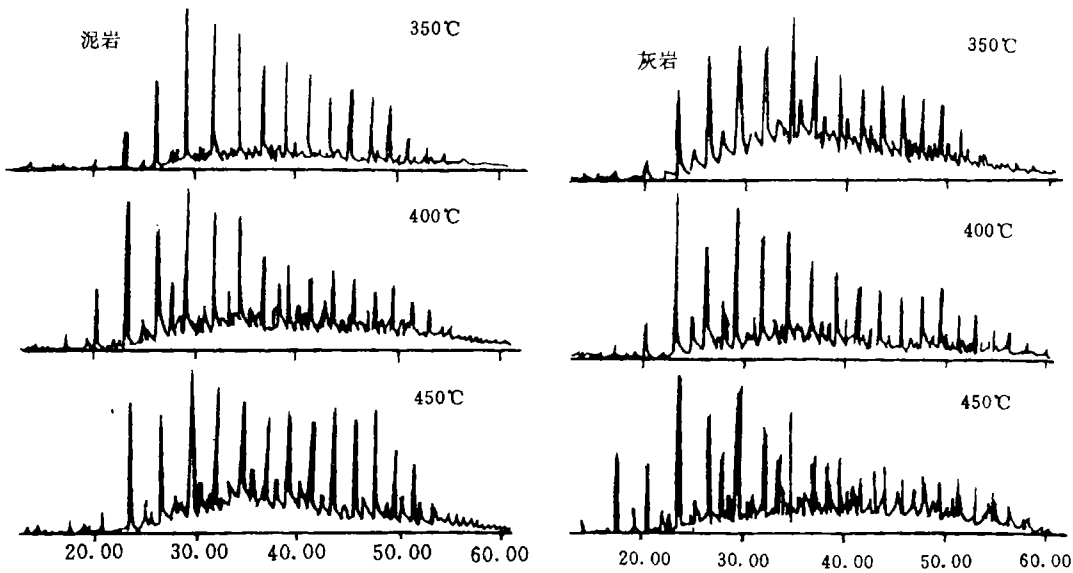


图1 泥岩和灰岩热模拟液态烃产物中正构烷烃分布

表1 俄克拉何马州 Rogers-1 号井岩心有机地球化学资料

样品深度 (m)	TOC (%)	抽提物 ($\times 10^{-6}$)	S_2 ($\times 10^{-6}$)	R_o (%)	样品深度 (m)	TOC (%)	抽提物 ($\times 10^{-6}$)	S_2 ($\times 10^{-6}$)	R_o (%)
8 217~8 363	0.31	160	96	4.8	8 723~8 750	0.28	73	62	6.0
8 283~8 298	0.26	193	164		8 796~8 827	0.26	107	101	
8 298~8 314	0.32	245	206		8 827~8 979	0.62	437	218	
8 314~8 332	0.37	228	158		9 110~9 135	0.53	190	187	
8 357~8 363	0.52	240	197		8 979~9 196	0.70	202	165	
8 357~8 0378	0.11	239	103		9 196~9 311	0.22	109	63	
8 442~8 470	3.59	2 520	2 320		9 312~9 372	0.29	185	95	
8 558~8 582	0.46	638	279		9 312~9 525	0.44	129	70	
8 558~8 732	0.24	483	362		9 372~9 414	0.23	115	89	
8 582~8 606	0.34	352	174		9 414~9 454	0.32	178	133	
8 606~8 625	0.40	358	211		9 454~9 485	0.33	141	143	
8 625~8 655	0.20	254	184		9 485~9 524	0.33	164	143	
8 673~8 698	0.33	334	249		9 524~9 558	0.26	201	243	
8 698~8 723	0.19	194	182		9 558~9 588	0.21	229	157	

注:根据 Price 等 1981 资料整理

上述资料表明,在适合的地质地球化学环境中, $R_o>1.35\%$ 的高温条件下,分散有机质仍然能生成和保存一定数量的 C_{15+} 烃类, C_{15+} 烃类死亡线的 R_o 值可能为 $7.0\% \sim 8.0\%$,并不是传统生油理论认为的 1.35% ,也不像传统生油理论认为那样,在 $R_o>4.0\%$ 时,分散有机质就变成石墨。这是因为在分散有机质向烃类转化过程中,传统的生油理论只考虑了温度

和地质时间的影响,没有考虑其他因素的影响,而其他控制因素可能也是重要的。

表 2 得克萨斯州 Jcabos-1 号井岩心有机地球化学资料

样品深度(m)	TOC(%)	C ₁₅ ⁺ 抽提物($\times 10^{-6}$)	C ₁₅ ⁺ 烃类($\times 10^{-6}$)	S ₂ ($\times 10^{-6}$)	R _o (%)
6 400.8	1.25	2 200			
6 401.7	0.46	1 400	1 100	462	
6 407.7	1.05	1 100			
6 418.3	0.55	776	588	579	4.50±0.31
6 698.7	0.49	1 800			
6 705.8	0.34	805	590	291	4.44±0.32
6 711.2	0.21	548	398	91	
7 000.0	0.27	200			
7 005.7	0.28	483	365	113	4.76±0.46
7 297.7	0.48	1 025	844	531	4.48±0.27
7 306.2	0.37	100			
7 313.8	0.31	230	153	121	
7 533.3	0.29	100			
7 539.1	0.23	165	104	86	
7 544.6	0.20	129	65	87	4.76±0.43

注:根据 Price 等 1982、1993 资料整理

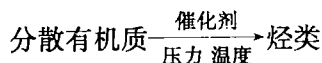
2 压力对液态烃生成的作用

尽管早期的研究认为,压力在有机质向油气转化过程中的作用可以忽略(Huck 等, 1995; Hunt, 1979),但是现在越来越多的研究表明,压力在烃类生成过程中是一个很重要的控制因素。姜峰和杜建国^①(1997)曾对泥炭样品进行了高温高压热模拟实验研究,结果表明,在同一模拟温度下,随着压力增高,液态产物产率急剧减少,这说明压力抑制了有机质向烃类的转化。解启来等(1999)对灰岩进行了热模拟实验,在 450℃时,低压热模拟样品中高碳数正构烷烃丰度已经很低,而高压样品中高碳数正构烷烃丰度仍然很高(图 4)。这表明压力抑制了 C₁₅⁺ 烃类的生成以及它们裂解形成低碳数烃类,这种认识也被 Rice 等(1992)研究结果所证实。如图 5 所示,Ⅰ型含硫有机质在 287℃模拟温度条件下,随着模拟压力增加,残留固体样品的生烃潜力(S₂)增大,而 C₁~C₄ 气体, C₅~C₈ 汽油和 C₈~C₂₅⁺ 饱和烃浓度减小。

由此可见,压力在有机质向烃类转化过程中,起着重要的作用,它抑制了分散有机质向烃类的转化和高碳数烃类向低碳数烃类的裂解。

3 生油体系性质对生烃的影响

生油体系是封闭系统或是开放系统,对有机质向烃类转化具有重要的影响。分散有机质向烃类转化,可以用下面方程式表示:



根据化学反应动力学原理,当生油体系是一个开放系统时,分散有机质生成的烃类就会不断离开生油体系,这样就有利于分散有机质向烃类的转化。反之,当生油体系是一个封闭

^① 姜峰,杜建国. 沉积有机质成烃的高温高压模拟研究. 中国科学院兰州地质研究所硕士学位论文,1997.

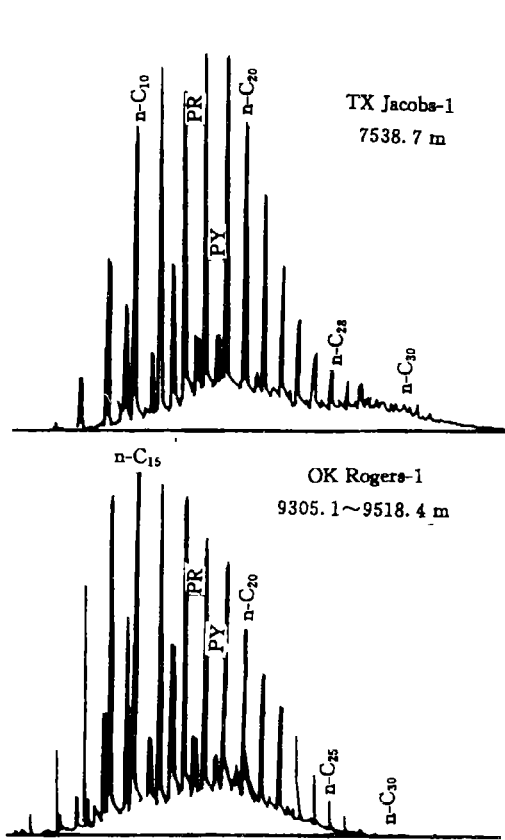


图 2 美国 Jacobs-1 和 Rogers-1 超深钻井岩心中正构烷烃分布(据 Price,1993)

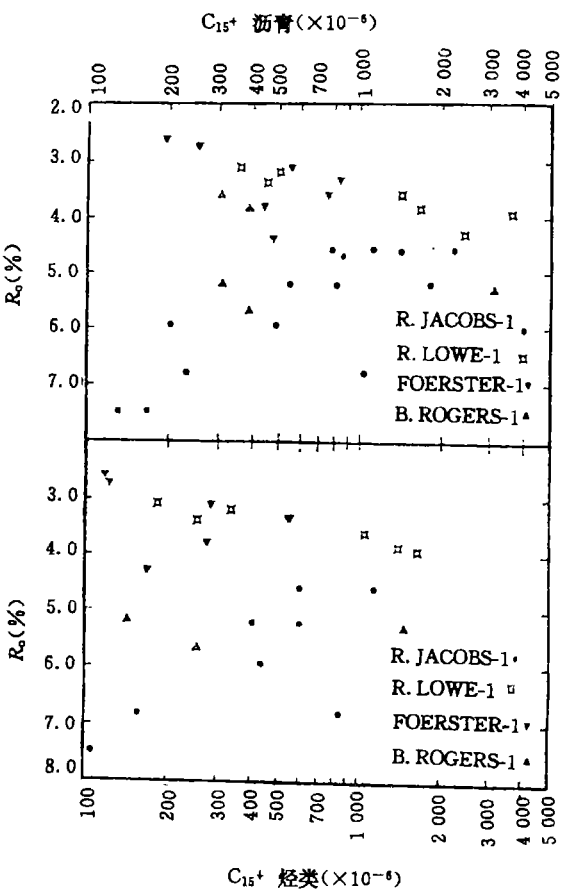


图 3 美国超深钻井岩心中 C_{15+} 可溶有机质和 C_{15+} 烃类与 R_o 的关系(据 Price, 1993)

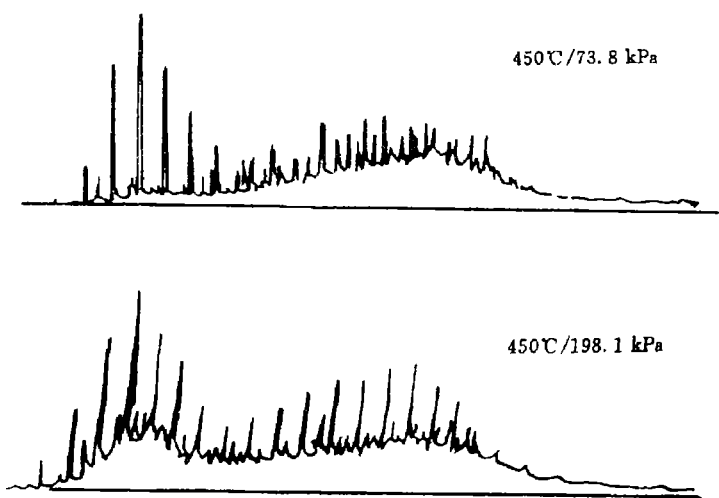


图 4 灰岩热模拟液态烃产物中正构烷烃分布(据解启来等, 1999)

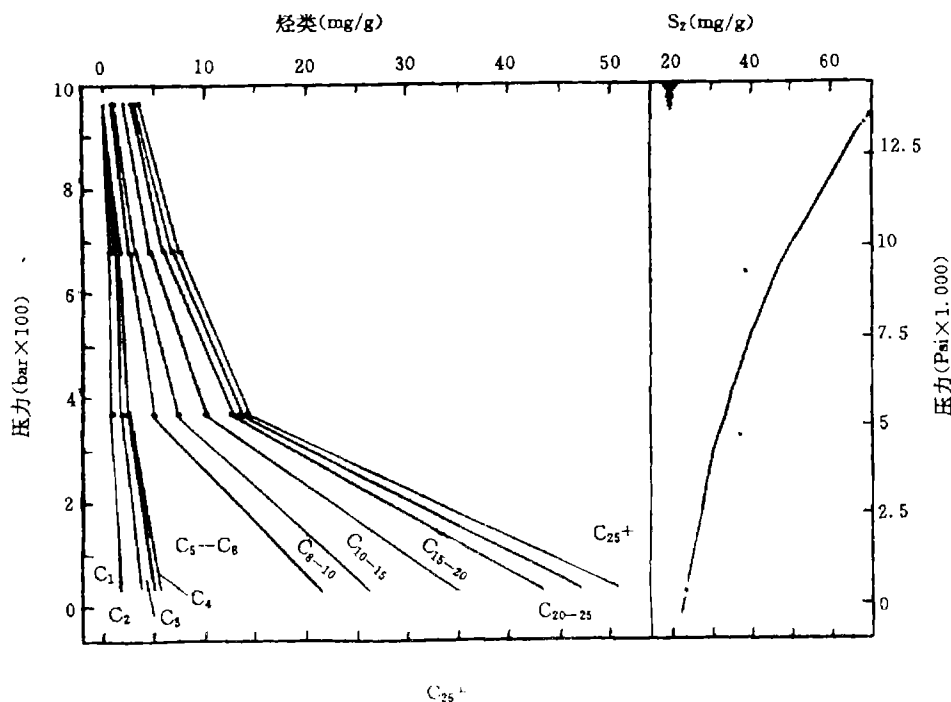


图5 热模拟产物中不同碳数烃类含量和残留固体产物生烃潜力(S_2)与压力关系(据 Price, 1992)

系统时, 烃类很少或未运移的情况下, 则反应达到平稳, 分散有机质难以向烃类转化, 同时还能使已经生成的烃类保存下来。该反应式中的正反应也是一个体积增大反应, 封闭系统使压力增大同样阻碍了反应向烃类方向进行。夏燕青等(1996 年)进行了一次有意义的热模拟实验。他使用褐煤样品, 分两个系列进行模拟实验, Y 系列是每个温度点采用原样, 而 Z 系列则是每一个温度点采用同一样品, 并且已将生成的气态和液态产物都移去。结果表明, Z 系列中液态烃产物在 400°C 时就结束, 而 Y 系列中液态产物延长到了 550°C 。Sajgo 等(1986)使用开放和准封闭两种实验系统, 进行热解模拟实验, 其结果同样显示了封闭系统对有机质成熟度和长链烷烃的生成都有抑制作用。

在含油气盆地中, 绝对的封闭系统似乎难以存在, 但是当地质构造相对稳定, 生油层为单一的、细粒的、巨厚的生油岩构成, 其生成的烃类难以运移出去, 这样的生油层可以视为封闭生油系统。

参 考 文 献

- 1 Price L C, Clayton J L and Rumen L L. Organic geochemistry of the 9.6 km Bertha Rogers No. 1. Well, Oklahoma. Org. Geochem., 1981, 3: 59~77.
- 2 Hunt J. Petroleum geochemistry and geology. Freeman, San Francisco, 1979. 466~467.
- 3 解启来, 周中毅, 范善发. 高温高压条件下铁岭灰岩晶包有机质的饱和烃演化特征. 地球化学, 1999(待刊).
- 4 Price L C and Wenger L M. The influence of pressure on petroleum, generation and maturation as suggested by aqueous pyrolysis. Org. Geochem., 1992, 19: 141~159.
- 5 夏燕青, 罗斌杰, 王春江. 热模拟实验产物中烷烃参数地球化学意义. 石油学报, 1996, 17(2): 36~40.
- 6 Sajgo C S, McEvoy J, Wolef G A, et al. Influence of temperature and pressure on maturation process—I, Preliminary report. Org. Geochem. 1986, 10: 331~337.