

文章编号:1001-6112(2009)05-0518-04

塔里木盆地库车坳陷 烃源岩热模拟实验及油气源对比

范明, 黄继文, 陈正辅

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要:塔里木盆地库车坳陷侏罗系煤系地层为该区的主力烃源层。在对塔里木盆地库车河、阳霞河和它什店剖面的三叠系、侏罗系碳质泥岩、泥岩和煤3类不同的烃源岩热模拟实验的基础上,以库车坳陷东部库1井天然气组分(干燥系数)及乙烷碳同位素为参数,用内插法求出该参数条件下模拟样品所对应的模拟温度及热成熟度。结果表明,在与地质背景相吻合的可能的成熟度区间内,只有侏罗系煤系地层的YM-4煤样的模拟结果与库1井一致,表明采用热模拟实验干燥系数内插法,结合同位素以及组分成熟度等资料可以指示天然气的气源岩。这种方法能将油气与烃源岩动态演化过程结合起来进行对比研究,为油气源对比研究提供新的思路。

关键词:干燥系数;热模拟;烃源岩;油—源对比;库车坳陷;塔里木盆地

中图分类号:TE122.11

文献标识码:A

THERMAL SIMULATING EXPERIMENT OF SOURCE ROCK AND GAS— SOURCE CORRELATION IN THE KUQA DEPRESSION OF THE TARIM BASIN

Fan Ming, Huan Jiwen, Chen Zhengfu

(Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: 9 samples from the Kuqa Depression of the Tarim Basin were collected and thermal simulated with a step of 40 °C from 260 °C to 540 °C. The components and ethane carbon isotopic compositions of gases generated from simulated samples were analyzed. The drying coefficients ($C_1/(C_2 + C_3)$) were figured out. Using drying coefficient of natural gas from Well Ku-1 as parameter for interpolation method, the possible thermal maturities of source rock as well as temperatures are calculated. According to geological background and the possible maturity range, the study showed that only the gas generated at about 420 °C from sample YM-4 of Jurassic coal formation is consistent with Well Ku-1 both in hydrocarbon components and ethane isotopic composition. That means Jurassic coal formation is the main source rock of natural gas from Well Ku-1. Combined with ethane carbon isotope, component and maturity data, the simulating gas drying coefficient can be used in gas—source correlation. The interpolation method overcomes the influence caused by organic thermal maturity and provides a new way for study of oil—gas—source correlation.

Key words: drying coefficient; thermal simulating experiment; source rock; oil—source correlation; Kuqa Depression; Tarim Basin

库车坳陷位于塔里木盆地北缘,面积为 1.6×10^6 km²,是一个新生代类前陆盆地;中、新生界陆相沉积岩厚达 12 000 m,下部发育三叠、侏罗系 2 套湖泊、沼泽相烃源岩,已证实的天然气储量大于 $5\,000 \times 10^8$ m³;天然气属煤型气,气源主要来自中、下侏罗统煤系^[1~7]。

以“时—温互补效应”为理论基础的热模拟实验成为油气的生成、有机质热演化、生烃动力学等研究的重要手段^[8~19]。本次研究,对模拟实验所获得的气态烃产物与库1井天然气的干燥系数等进行对比,进一步证实了侏罗系煤系地层是该区主要的烃源层系。

收稿日期:2008-04-28;修订日期:2009-09-09。

作者简介:范明(1964—),男,博士,高级工程师,从事石油地质勘探及实验测试研究。E-mail:fm@mail.wuxisuo.com。

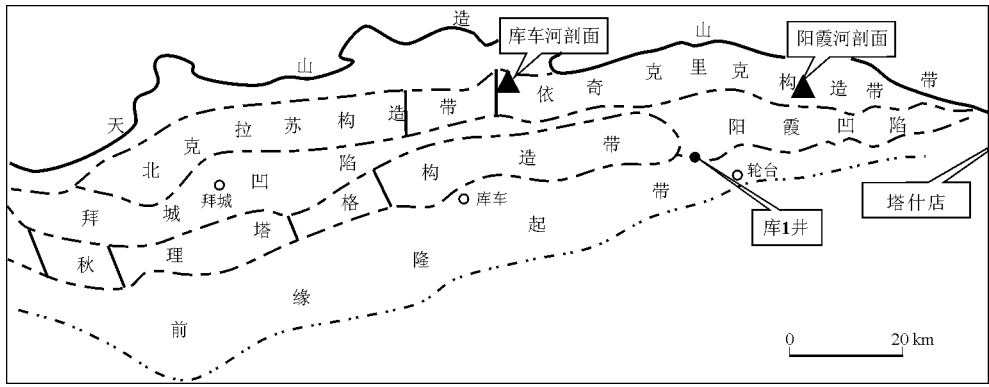


图 1 塔里木盆地库车坳陷构造区划及采样位置示意

Fig. 1 The location of the source rock samples in the Kuqa Depression of the Tarim Basin

1 样品与实验

库 1 井位于库车坳陷东段阳霞凹陷南斜坡(图 1),2003 年初经测试有少量天然气和凝析油,在井场放喷口采集了该井的气样及部分凝析油样。在库车河剖面、阳霞河剖面和塔什店(位于阳霞凹陷以东)剖面采集了三叠系、侏罗系碳质泥岩、泥岩和煤等 3 种类型的烃源岩样品(表 1),并进行了生烃热模拟实验。

对库 1 井天然气烃类组成进行了组分分析,得

表 1 实验所用样品所在剖面、层位及岩性

Table1 The section and formation and lithology of samples used in simulating experiment

剖面名称	样品号	层位	岩性
库车河	库车河 13	T ₃ t	煤
	库车河 16	T ₃ t	煤
阳霞河	YM-1	T ₃ t	碳质泥岩
	YM-2	T ₃ t	煤
	YM-3	J ₂ kz	碳质泥岩
	YM-4	J ₂ kz	煤
	yx-69s1	J ₂ kz	灰色泥岩
塔什店煤矿	TS-1	J	碳质泥岩
	TS-2	J	煤

到各组分 C₁, C₂, C₃, C₄, C₅, C₆₊ 的含量分别为 83.35%, 11.59%, 2.21%, 0.76%, 0.05%, 0.01%; 干燥系数 C₁/(C₂+C₃) 为 6.19。

烃源岩生烃热模拟实验加热的温度点为 260, 300, 340, 380, 420, 460, 500, 540 °C, 每个温度点恒温 24 h, 得到了每个样品不同温阶的天然气组分, 并计算出干燥系数(表 2)。以库 1 井天然气的干燥系数为参数, 通过内插法计算, 可求得各个样品当其干燥系数与库 1 井天然气相同时, 所对应的模拟温度及等效镜质体反射率。残渣镜质体反射率的测量结果表明, R_o 与温度间具有良好的线性关系: R_o = 0.011 1T - 2.645 8 (R² = 0.951 4)。

2 天然气组分及干燥系数数据分析

烃源岩模拟产物的干燥系数随着温度的升高, 存在“高一低一高”的变化趋势, 所以干燥系数相同的热模拟气态烃产物, 既可能是低温时(小于 340 °C)的, 也可能是高温时(大于 400 °C)的。

库 1 井天然气的干燥系数为 6.19, 根据这个参数, 用内插法可分别计算出对应的低温或高温的虚拟温度及等效镜质体反射率(表 3)。

由表 2 可以看出, 阳霞河克孜勒努尔组(J₂kz)

表 2 各温度点气态烃产物干燥系数(C₁/(C₂+C₃))

Table 2 The drying coefficients of all simulating gas samples

温阶/°C	库车河 13	库车河 16	YM-1	YM-2	YM-3	YM-4	yx-69s1	TS-1	TS-2
260	9.83	3.99	7.97	26.48	4.50	12.65	1.04	6.92	10.66
300	12.96	8.52	5.85	15.78	4.30	7.39	0.99	5.56	7.53
340	3.08	4.80	2.28	4.61	2.65	4.62	0.73	1.99	2.07
380	1.92	1.96	1.54	2.10	1.81	2.93	0.70	1.38	1.51
420	2.26	1.98	1.74	2.50	2.26	5.58	0.96	1.40	1.28
460	3.10	2.56	2.59	3.80	3.42	15.67	1.87	2.15	1.43
500	8.51	5.14	6.92	14.64	9.87	54.02	3.89	5.25	3.05
540	21.50	17.72	20.35	112.71	28.10	368.27	10.35	15.20	7.11

表 3 热模拟残渣镜质体反射率及温度插值

Table 3 The virtual temperatures as well as vitrinite reflectivity at which the drying coefficients of simulating generated gas is equal to that of gas from Well Ku-1

模拟样品 样品号	低温阶		高温阶	
	插值 温度/℃	插值 $R_o, \%$	插值 温度/℃	插值 $R_o, \%$
库车河 13	327.4	0.97	483	2.61
库车河 16	325	0.96	503	2.86
YM-1	294	0.82	493	2.73
YM-2	334.4	1.00	469	2.44
YM-3			477	2.54
YM-4	317	0.93	422	1.79
yx-69s1			514	3.11
TS-1	282	0.76	504	2.87
TS-2	310	0.89	578	3.31

的泥岩样品(yx-69s1)、碳质泥岩(YM-3)在低温时气态烃产物的干燥系数均小于库 1 井天然气的干燥系数,所以在低温时没有其所对应的模拟温度和镜质体反射率,其它样品分别在 340 ℃ 以下及 400 ℃ 以上均存在与库 1 井天然气相似的干燥系数的区间。

库 1 井天然气来自井下 6 500 多米的深度,由于第三系沉积速度快、厚度大,对库 1 井供气的三叠系、侏罗系烃源岩有机质镜质体反射率大于 1.0%^[5];在 340 ℃ 以下的低温阶的模拟产物中尽管有与之相对应的干燥系数(表 2 中低温阶部分),但库 1 井天然气不可能是其烃源岩低热演化阶段的产物。

在高温阶产物中,除阳霞河侏罗系克孜勒努尔组煤样(YM-4)外,其它样品均需要镜质体反射率大于 2.4%,其模拟产物才可能在某一确定模拟温度出现与库 1 井的干燥数(6.19)相当的气态烃,这个演化程度相当于过成熟阶段,而库车坳陷库 1 井区 T_5^0 埋深约为 7 000 m 左右,侏罗系烃源岩并未达到如此高的演化程度。

阳霞河侏罗系克孜勒努尔组煤样(YM-4),在模拟温度 422 ℃ 左右时,其模拟产物的镜质体反射率约为 1.79%,模拟气态烃产物的干燥系数与库 1 井相当,而库 1 井区现今侏罗系顶面成熟度为 1.6%~2.0%。因此,认为库 1 井气源岩应以本区侏罗系煤系地层为主。图 2 为库 1 井天然气与各温度点模拟气态烃产物干燥系数的对比,可见在可能的热演化区间内(340~460 ℃),库 1 井天然气干燥系数仅与阳霞河侏罗系克孜勒努尔组煤样的模拟气态烃产物的干燥系数变化曲线有交点。

干燥系数的对比判断出库 1 井的气源岩为侏

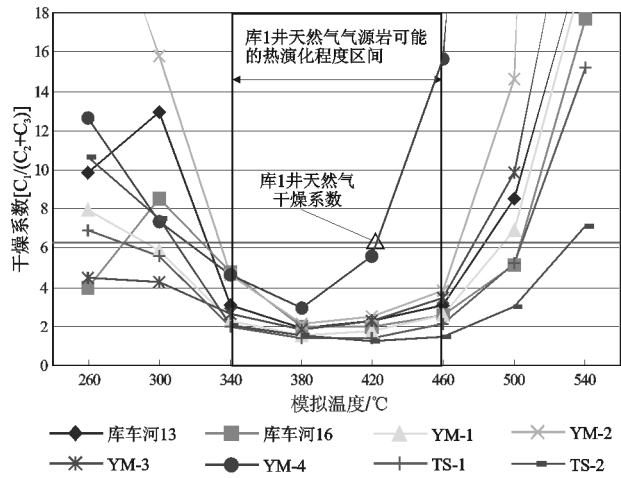


图 2 塔里木盆地库 1 井天然气与各温阶模拟气态烃产物干燥系数对比

Fig. 2 Comparing the drying coefficients of gas from Well Ku-1 with all simulating generated gas

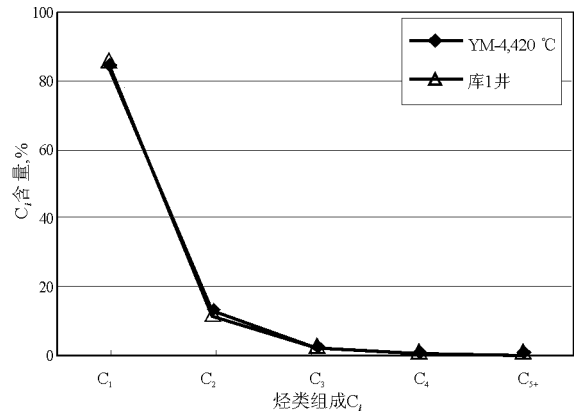


图 3 塔里木盆地库 1 井天然气与 YM-4 煤样模拟气态烃类组成对比

Fig. 3 The components of gas from Well Ku-1 and simulating gas of YM-4 generated at 420 °C

罗系煤系地层。另外 YM-4 号样品在 420 ℃ (内插计算温度应为 422 ℃) 的模拟气态烃产物与库 1 井天然气的气态烃产物的 C₁-C₅₊ 烃类组成百分含量几乎完全一样(图 3),也说明气源岩为 J₂kz 煤系地层。

3 库 1 井天然气与模拟气态烃产物碳同位素对比

乙烷碳同位素值可反映气源岩母质类型。对阳霞河三叠系、侏罗系煤和泥岩样品分别进行了各温度点模拟产物的单体烃碳同位素测定,其中塔里奇克组(J₃t)的一组样品(YM-1, YM-2)只进行了 260, 340, 380, 460, 540 ℃ 的模拟气态烃产物测定;库 1 井天然气乙烷碳同位素值为 -23.05‰(图 4)。

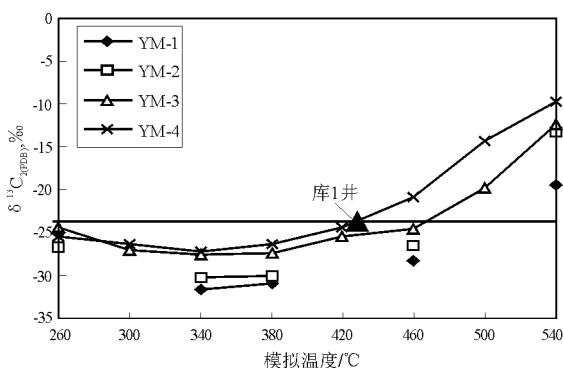


图4 YM-1—YM-4 模拟气态烃产物乙烷碳同位素与库1井的对比

Fig. 4 Comparing the ethane carbon stable carbon isotope of gas from Well Ku-1 with all simulating gas

从图4可见,库1井天然气同样与YM-4煤样420°C热模拟降解产物的 $\delta^{13}C_2$ 非常接近,其乙烷碳同位素值分别为 -23.05% 和 -24.47% ,这也表明库1井天然气的气源岩应为侏罗系煤系地层。

4 结论

1)根据热模拟气态烃产物与库1井天然气的烃类组成、干燥系数及乙烷碳同位素的对比,认为库1井天然气的烃源岩与侏罗系煤系地层有较大的相关性,侏罗系煤系地层应是该区主要的烃源层系。

2)利用烃源岩生烃热模拟实验中气态烃的组分、干燥系数进行烃源岩的直接追踪,是一种行之有效的办法,这种方法将油气与烃源岩动态热演化过程结合起来,为油气源对比提供了一种新的思路与手段。

参考文献:

- 1 陈瑞银,徐思煌,杜晓峰. 柯克亚油气田烃源岩特征与油源对比[J]. 新疆石油学院学报,2002,14(2):1~14
- 2 傅家谟,刘德汉. 天然气运移、储集和封盖条件[M]. 北京:科学出版社,1992. 189~496
- 3 侯读杰. 陆相油气地球化学研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1995

- 4 李贤庆,肖贤明,Tang Y等. 库车坳陷侏罗系煤系源岩的生烃动力学研究[J]. 新疆石油地质,2003,24(6):487~489
- 5 梁狄刚,张水昌,陈建平. 库车坳陷油气成藏地球化学[A]. 见:梁狄刚主编. 有机地球化学研究新进展:第八届全国有机地球化学学术会议论文集[C]. 北京:石油工业出版社,2002. 22~41
- 6 梁狄刚,金之钧. 塔里木盆地油气源及成藏研究[R]. 北京:中国石油大学,2000
- 7 刘得光,王绪龙. 塔里木盆地西南坳陷油气源研究[J]. 沉积学报,1997,15(2):35~39
- 8 承秋泉,范明,黄继文等. 塔里木盆地库车坳陷烃源岩热模拟实验中甲烷碳同位素的二阶分馏[J]. 石油实验地质,2009,31(1):101~104
- 9 卢家烂. 干酪根成烃模拟实验及其应用[A]. 见:傅家谟,秦匡宗主编. 干酪根地球化学[M]. 广州:广东科技出版社,1995. 471~490
- 10 卢双舫,赵锡银,王子文等. 煤成烃生成和运移的模拟实验:芳烃产物的特征及意义[J]. 石油学报,1996,17(1):47~53
- 11 庞雄奇. 煤系源岩排烃门限理论研究与应用[M]. 北京:石油工业出版社,2001
- 12 秦建中,刘井旺,刘宝泉等. 加温时间、加水量对模拟实验油气产率及地化参数的影响[J]. 石油实验地质,2002,24(2):152~157
- 13 Connan J. Time-temperature relation in oil genesis[J]. AAPG Bulletin, 1974, 58:2516~2521
- 14 Rohrback B G, Peters K E, Kaplan I R. Geochemistry of artificially heated humic and sapropelic sediments - II: Oil and gas generation[J]. AAPG Bulletin, 1984, 68:961~970
- 15 刘光祥. 塔里木盆地 S74 井稠油热模拟实验研究(一):模拟产物地球化学特征[J]. 石油实验地质,2008,30(2):179~185
- 16 刘光祥. 塔里木盆地 S74 井稠油热模拟实验研究(二):沥青生烃潜力探讨[J]. 石油实验地质,2008,30(4):382~385
- 17 朱扬明. 塔里木盆地陆相原油的地球化学特征[J]. 沉积学报,1997,15(2):26~30
- 18 Saxby J D, Bennett A J R, Corcoran J F, et al. Petroleum generation: Simulation over six years of hydrocarbon formation from torbanite and brown coal in a subsiding basin[J]. Org Geochem, 1986, 9: 69~81
- 19 Schaefer R G, Schenk H J, Hardelauf H, et al. Determination of gross kinetic parameters for petroleum formation from Jurassic source rocks of different maturity levels by means of laboratory experiments[J]. Org Geochem, 1990, 16(1-3):115~120

(编辑 徐文明)