

文章编号: 0253-9985(2006)02-0253-05

降温热模拟实验中烃源岩成熟度和产气率的变化特征

胡国艺¹, 李振铎², 李志生¹, 李 剑¹, 罗 霞¹, 王春怡¹

(1. 中国石油 勘探开发研究院 廊坊分院, 河北 廊坊 065007;

2. 中国石油 南方公司, 广东 广州 510240)

摘要:对鄂尔多斯盆地低成熟($R_o=0.29\%$)、成熟($R_o=0.66\%$)和高成熟($R_o=1.71\%$)的 3 个煤样分别开展了降温、延长加热时间热模拟实验,研究烃源岩在降温时延长加热时间成熟度和产气率的变化特征。煤样在升温后降到一定的温度,延长加热时间烃源岩成熟度仍然发生变化,增加幅度为 $0.15\% \sim 0.40\%$ 。在同一温度不同时间段内, R_o 值增加的速率存在差异,前期 R_o 值增加速率较大,随着加热时间的延长 R_o 值增加的速率逐渐降低。降温延长加热时间测定的烃源岩产气率的变化特征是,早期产气率较低,随着加热时间的延长累积产气率逐渐增高。生气速率的变化特征如同 R_o 值,在前期生气速率较大,随加热时间延长生气率逐渐降低。实验结果表明,烃源岩在经历高温后降到一定的温度,延长加热时间可以继续生烃,只是生气速率逐渐减小。

关键词:降温;成熟度;产气率;烃源岩;热模拟;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE125.2

文献标识码:A

Characteristics of maturity and gas generating yield of source rocks in thermal simulation experiment with lowering temperature

Hu Guoyi¹, Li Zhenduo², Li Zhisheng¹, Li Jian¹, Luo Xia¹, Wang Chunyi¹

(1. Langfang Branch, Petroleum Exploration & Development Research Institute, PetroChina, Langfang, Hebei, 065007;

2. South Petroleum Exploration and Development Company, CNPC, Guangzhou, Guangdong, 510240)

Abstract: Thermal simulation experiments with lowering temperature and extending heating time have been performed on 3 coal samples with low maturity ($R_o=0.29\%$), normal maturity ($R_o=0.66\%$) and high maturity ($R_o=1.71\%$), respectively, to study the change of maturity and gas generating yield of source rocks led by extending heating time while lowering the temperature. The vitrinite reflectance (R_o) of source rocks still can increase if the heating time is extended with lowering temperature to a certain point after heating. The increment is in the range of $0.15\% \sim 0.40\%$. The rates of increase of R_o value vary at different time interval at the same temperature. It is relatively large at the initial stage, but then gradually lowers with extending heating time. Gas generating yield of source rocks measured through extending heating time with lowering temperature is relatively low at the initial stage, but the cumulative gas generating yield increases gradually along with the extension of heating time. Just like R_o value, the rate of gas generation is larger at the initial stage but then lowers with extending heating time. The experiment results show that hydrocarbon generation can go on after the temperature has been lowered to a certain point after heating if the heating time is extended, but the rate of gas generation

收稿日期:2005-12-10

第一作者简介:胡国艺(1968—),男,高级工程师,天然气地质学

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2001CB209102)

would decrease gradually.

Key words: lower temperature; maturity; gas generating yield; source rocks; thermal simulation

我国古生界烃源岩大多数都经历了升温-降温过程。鄂尔多斯盆地上古生界煤系烃源岩在晚侏罗世末期—早白垩世末期古地温达到了最大^[1,2],烃源岩有机质快速成熟并大量生气。在早白垩世末期以后,盆地经历抬升剥蚀(不同地区抬升剥蚀厚度不等),烃源岩经历的地温相应降低^[2,3]。但是,在降温之后的约 100 Ma 地质时间里烃源岩是否能继续生烃,也就是说鄂尔多斯上古生界形成的气藏在抬升之后是否得到后期的气源持续供给,这对研究深盆气和资源评价来说是个非常重要的问题^[4,5]。

国内外很多学者都尝试过利用热模拟实验确定煤和暗色泥岩在不同演化阶段的生气量^[6-10]。针对这个问题,我们开展了以煤样为代表的烃源岩降温后的热模拟实验,从实验角度论证降温延长烃类能否继续生成。这对科学地评价油气资源有极为重要的意义^[11]。

1 样品及实验条件

1.1 样品

本次挑选成熟度不同的 3 块煤样供升温-降温模拟实验分析。3 块样品分别为鄂尔多斯盆地东胜神山沟侏罗系的未成熟煤($R_o = 0.29\%$)、府谷海则庙山西组成熟煤($R_o = 0.66\%$)和神 7 井太原组的高成熟煤($R_o = 1.71\%$)(表 1)。

粉碎煤样,混合均匀、过筛,选取 40~60 目样品进行测试分析。热模拟样量一般在 5 g 左右。样品装入热解器不锈钢管容器中,加热前通入氦气吹扫空气。

表 1 采集的样品及热模拟温度

Table 1 Collection of samples and temperatures of thermal simulation

取样地点	取样情况	层位	岩性	$R_o/\%$	加热最高温度/ ℃	降到温度/ ℃	降温幅度/ ℃
东胜神山沟	煤矿	侏罗系	煤	0.29	400	380	20
府谷海则庙	露头	山西组	煤	0.66	500	460	40
神 7 井 2 146 m		太原组	煤	1.71	600	550	50

1.2 实验仪器及分析条件

1.2.1 实验仪器

实验应用澳大利亚 SGE 公司生产的高温热解器、美国惠普公司生产的 HP5890A 型气相色谱仪及微机数据系统自行组装成一套新型热模拟分析仪。SGE 热解器(其热解装置可在 900℃ 以下各温度点长时间恒温工作)通过接口与 HP5890A 气相色谱仪相连。样品在氦气流中加热到设定温度。烃类组分在氦气吹扫下进入液氮冷阱中,达到预定时间后,热解器温度迅速降至室温。撤去冷阱,气体在氦气吹扫下进入色谱仪。

1.2.2 分析条件

1) 加热体系:采用开放体系,在氦气流作用下,热解器中样品在不同温度下生成的气体随时进入收集装置中。

2) 加热温度:东胜神山沟煤样最高加热温度为 400℃、加热时间为 0.5 h,降温到 380℃、加热时间分别为 0.5 h, 2 h, ……;府谷海则庙煤样最高加热温度为 500℃、加热时间为 0.5 h,降温到 460℃、加热时间分别为 0.5 h, 2 h, ……;神 7 井煤样最高加热温度为 600℃、加热时间为 0.5 h,降温到 550℃、加热时间分别为 0.5 h, 2 h, ……。

3) 升温速度:3℃/s。

2 实验结果与分析

在降温过程中如何确定煤样是否能够继续生烃,主要采用两种方法。一种是测定不同模拟温度点和不同加热时间下煤样镜质体反射率的变化,这种方法是基于煤样镜质体反射率变化与煤发生生气作用存在着内在对应关系;另一种是直接测定降温时随时间变化不同时间段内煤样的产气量。

2.1 镜质体反射率变化特征

煤样加热的最高温度和降温幅度大小主要依据原始煤样的 R_o 值,一般遵循低成熟度煤样加热的最高温度相对较低、降温幅度小,高成熟度样品加热的最高温度高、降温幅度大的原则。对不同

样品确定的最高加热温度和降温幅度应该有所差别,至于具体确定多少带有人为因素。但有一点是必须要做到的,即原始样品在加热到最高温度时, R_o 值要发生明显的变化。例如对府谷海则庙煤样确定最高加热温度,在选择 400°C 时,测定的煤样 R_o 值为 0.69% ,与原始煤样 R_o 值 0.67% 基本接近;当选定 500°C 为加热温度时, R_o 值升至 1.00% ,与原始样品 R_o 值之间具有明显的变化。

3 个样品的最高加热温度及降温幅度如表 1 所示。从表中可以看出,不同样品确定的加热温度和降温幅度存在差异;但是从最后的实验结果来看,还是能够解决问题。

通过对不同温度 and 不同时间实验模拟后的煤样 R_o 值进行测定分析,煤样通过升温热模拟后镜质体反射率具有如下变化特征。

2.1.1 煤样加热到一定温度后降温延长加热时间 R_o 值增加

降温后的 3 个煤样加热到小于原样的温度后,在不同时间上测得的 R_o 值变化特征如

图 1 所示。府谷海则庙煤样 R_o 值的变化与东胜神山沟煤样有些差别。海则庙煤样原始 R_o 值为 0.66% ;在 500°C 加热 0.5 h 后, R_o 值升至 1.00% ;在降温至 460°C 恒温 0.5 h , R_o 值发生明显变化,增加到 1.16% ;随着时间的增长, R_o 值还继续发生变化,在恒温到 2 h , R_o 值升至 1.40% 。

神 7 井煤样 R_o 值的变化特征与海则庙煤样有相似之处。原始煤样 R_o 值为 1.71% ;当在 600°C 恒温 0.5 h 后, R_o 值升至 1.98% ;然后降温至 550°C 恒温 0.5 h , R_o 值继续增加,升至 2.10% ;再持续加温 2 h , R_o 值升至 2.21% 。

从以上 3 个煤样的实验分析结果来看,尽管各煤样在不同加热阶段 R_o 值增幅有差别,但是这 3 个实验均证明了煤样在加热升到一定温度后,如

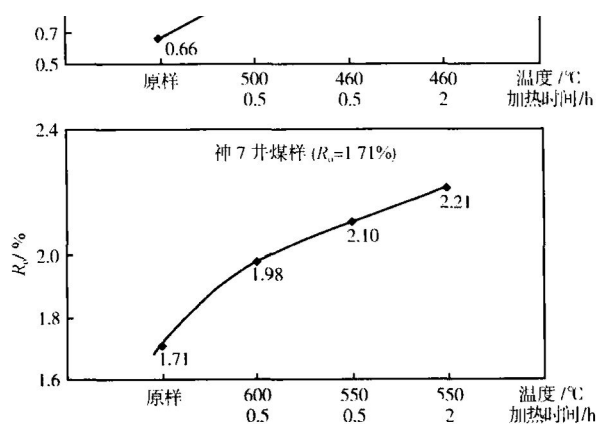


图 1 煤样镜质体反射率与加热温度和时间变化关系
Fig. 1 Vitrinite reflectance of coal sample

增加速率为 $17.4 \times 10^{-6}/\text{s}$,后 1080 min 增加的速度为 $1.5 \times 10^{-6}/\text{s}$,前者是后者的 11.6 倍;府谷海则庙煤样在前 120 min R_o 值增加速率为 $23.6 \times 10^{-6}/\text{s}$,在后 480 min 增加速率为 $1.0 \times 10^{-6}/\text{s}$,前者是后者的 22.7 倍;神 7 井煤样在前 30 min R_o 值增加速率为 $66.7 \times 10^{-6}/\text{s}$,在后 120 min 增加的速率为 $15.3 \times 10^{-6}/\text{s}$,前者是后者的 4.4 倍。从以上 3 个样品的分析结果来看,在同一加热温度下随时间增加, R_o 值是不断增加的,说明延长加热时间对生烃有补偿作用。但是,实验中 R_o 值增加的速率是越来越小的。对于这一现象,作者认为模

续性^[12],除了高温时 R_0 值演化的滞后效应外,也体现了 R_0 值演化速率随温度降低而变小的事实。

2.2 烃源岩产气率变化特征

采用热模拟实验,对府谷海则庙、神 7 井煤样在降温条件下不同时间段内热模拟的产气率进行测定。从产气率的变化来看,主要有以下几点特征。

2.2.1 煤样降温加热仍然有气体生成且随着时间的持续生气量逐渐增多

煤样降温加热持续时间与生气量的关系如图 2 所示。东胜神山沟煤样在 400℃ 降温到 380℃ 后,延长加热时间,前 0.5 h 测到的产气率为 0.5 m³/t;但加热到 12.5 h 时,累积产气率可达 2.8 m³/t。海则庙煤样从 500℃ 降到 460℃,在降到 460℃ 之前时,将前期生成的气体吹扫干净,然后再恒温 0.5 h,测得的产气率为 0.3 m³/t;之后持续加热,每 2 h 测定产气率。从图 2 中可看出,随时间延长,累积产气率不断增加;在持续加热到 12.5 h 后,测得的产气率可达 4.2 m³/t。神 7 井煤

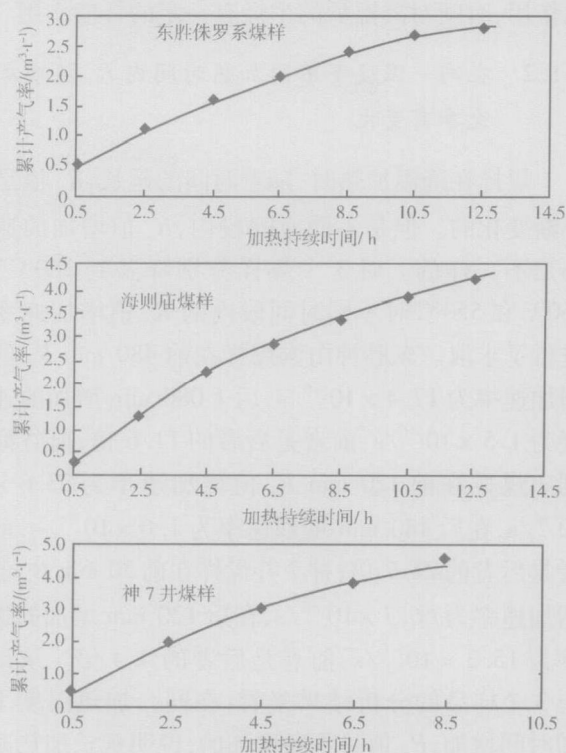


图 2 煤样降温后产气率变化与加热时间的关系

Fig. 2 Variation of gas generating yield from coal sample vs. heating duration after the temperature has been lowered

样在从 600℃ 降到 550℃ 时,恒温 0.5 h,测得的产气率为 0.5 m³/t;随着时间的延续,产气量逐渐增加,在经历 8.5 h 加热后,累积产气率可达 4.3 m³/t。

从以上 3 个样品的实验结果可以看出,降温作用后煤样仍然有烃类气体生成。随着时间的增长,产气量不断增加,时间对生烃量有一定的补偿作用。

2.2.2 在一定温度条件下生气速率随时间延长不断降低

图 3 分别为东胜神山沟、海则庙和神 7 井煤样在降温到 380℃、460℃ 和 550℃ 温度时恒温,在不同时间段内单位时间产气量的变化。从图中可以看出,东胜神山沟煤样 380℃ 时前 0.5 h 的生气速率为 1.0 m³/(t·h);随后生气速率迅速降低,在最后 2 h 内生气速率达到最低,为 0.05 m³/(t·h)。海则庙煤样在前 0.5 h 生气速率为 0.6 m³/(t·h);在此之后,生气速率逐渐减小,在最后的 10.5—12.5 h 之间,生气速率仅为 0.2 m³/(t·h),生气

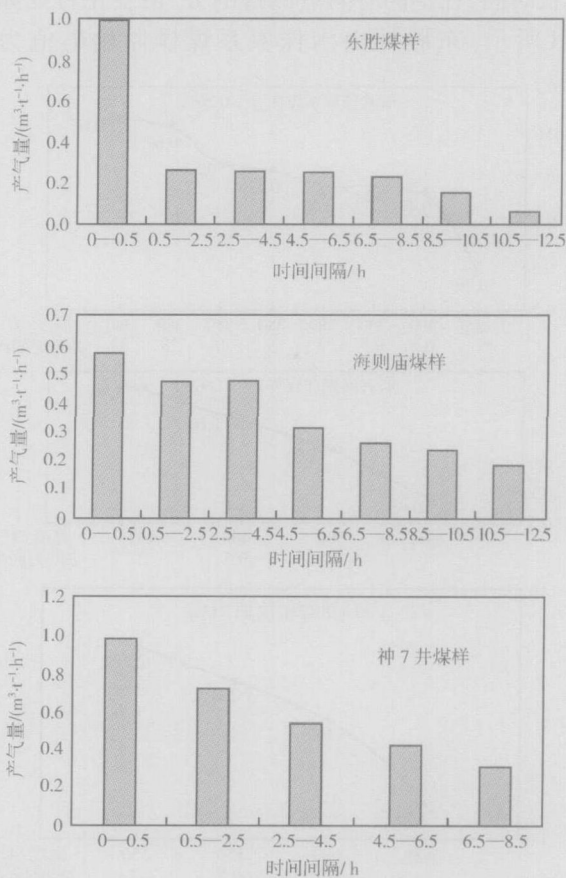


图 3 煤样不同加热时间段平均生气速率的变化

Fig. 3 Average rate of gas generation of coal sample at different heating durations

速率为前0.5 h的1/3。神7井的产气速度变化极快,在前0.5 h时,平均生气速率为 $1.0 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{h})$;在此之后,生气速率也同样不断降低,在实验最后6.5—8.5 h之间,平均生气速率仅为 $0.3 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{h})$,生气速率为前0.5 h的1/3。

从以上实验结果可以得出,随着时间增加,在不同阶段煤样生气速率是不断变化的。在早期生气速率较高;随时间延长,生气速率不断降低。

从煤样降温热模拟实验成熟度和产气率的变化特征来看,降温延长时间烃源岩可以继续生烃,但是降温的幅度决定了烃源岩生气量的多少。当温度降低幅度很大时,即使无限期地延长时间,烃源岩也不可能生烃。关于降温生烃温度极限值是个非常复杂的问题,有待进一步研究。

3 结论

1) 烃源岩在降温后延长加热时间, R_o 值可以继续增加。在早期增加速率大,后期增加速率小,到一定阶段 R_o 值增加很小。

2) 烃源岩在降温后延长加热时间可以继续生烃,但随时间增加生气速率逐渐减小。

3) 烃源岩在经历高温后降到一定的温度,随时间增加可以继续生烃。

参 考 文 献

- 1 杨俊杰,裴锡古. 中国天然气地质学(卷四)[M]. 北京:石油工业出版社,1996. 215~234
Yang Junjie, Pei Xigu. Natural gas geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996. 215~234
- 2 刘新社,席胜利,付金华,等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气生成[J]. 天然气工业,2000,20(6):19~23
Liu Xinshe, Xi Shengli, Fu Jinhua, et al. Natural gas generation in the Upper Paleozoic in Ordos basin[J]. Natural Gas Industry, 2000,20(6):19~23
- 3 任战利,赵重远,张军,等. 鄂尔多斯盆地古地温研究[J]. 沉积学报,1994,12(1):56~65
Ren Zhanli, Zhao Zhongyuan, Zhang Jun, et al. Research on Paleotemperature in the Ordos basin[J], Acta Sedimentologica Sinica, 1994,12(1):56~65
- 4 Lopatin N V. Temperature and geologic time factors in coalification[J]. SSSR Ser Geol, 1971, 3:95~106
- 5 Waples D W. Time and temperature in petroleum exploration: application of Lopatin's method to petroleum exploration[J]. AAPG Bull, 1980, 64: 916~926
- 6 姚素平,张景荣. 鄂尔多斯盆地中生界煤成烃潜力的实验研究[J]. 煤田地质与勘探,2004,32(1):24~28
Yao Suping, Zhang Jingrong. Experimental study of hydrocarbon generation potentiality of Mesozoic coal measure, Ordos basin[J]. Coal Geology & Exploration, 2004,32(1):24~28
- 7 刘大永,彭平安. 煤系地层中不同类型镜质体可能的化学结构与生物母质[J]. 石油与天然气地质,2004, 25(4):377~384
Liu Dayong, Peng Ping'an. Possible chemical constitutions and original biological materials of various vitrinites in coal measure strata[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4):377~384
- 8 许化政,周新科. 文留地区石炭—二叠纪煤系生烃史及生烃潜力[J]. 石油与天然气地质,2004, 25(4):400~407,421
Xu Huazheng, Zhou Xinke. Hydrocarbon-generating potential and history of Carboniferous—Permian coal measure strata in Wenliu areas[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4):400~407,421
- 9 曹建军,孔凡顺,彭木高. 煤成气生气量热模拟实验条件对比综述[J]. 油气地质与采收率,2004,11(5):14~16
Cao Jianjun, Kong Fanshun, Peng Mugao. Summary of thermal simulating experimental conditions correlation of coal-related gas generating amount[J]. Petroleum Geology & Recovery Efficiency, 2004,11(5):14~16
- 10 刘大猛,杨起,汤达祯,等. 鄂尔多斯盆地煤成烃潜力与成气热模拟实验[J]. 现代地质,1997,11(3):322~329
Liu Dameng, Yang Qi, Tang Dazhen, et al. Coal-derived hydrocarbon potential and thermal simulating experiment on coal-derived gas from Ordos basin[J]. Geoscience, 1997, 11(3):322~329
- 11 魏永佩,王毅. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产富集规律的比较[J]. 石油与天然气地质,2004, 25(4):385~392
Wei Yongpei, Wang Yi. Comparison of enrichment patterns of various energy resources in Ordos basin[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4):385~392
- 12 官色,李剑,张英,等. 煤的二次生烃机理探讨[J]. 石油实验地质,2002,24(6):541~549
Gong Se, Li Jian, Zhang Ying, et al. Discussion on the secondary hydrocarbon-generation mechanism of coal[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002,24(6):541~549

(编辑 李 军)