

文章编号:1001-6112(2007)02-0162-05

# 多旋回盆地复杂生烃史条件下烃源岩生烃量研究

李慧莉<sup>1,2,3</sup>, 邵志兵<sup>1</sup>, 金之钧<sup>2</sup>, 何治亮<sup>2</sup>

(1. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院西部分院, 乌鲁木齐 830011;

2. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083; 3. 中国地质大学, 北京 100083)

**摘要:**通过热模拟实验的方法,探讨了复杂生烃史条件下烃源岩生烃量的变化特征。热模拟实验结果表明,复杂生烃史条件下,烃源岩的生烃量与简单连续生烃相比并不相同。烃源岩两次不连续累计生烃量大于连续生烃量;不同的两次不连续生烃中,烃源岩累计生烃量也不相同。对热模拟实验结果的讨论认为,不连续生烃量与连续生烃量的差别主要反映了生烃过程、排烃条件以及可能存在的外界环境的影响。多旋回盆地中的古老烃源岩,在漫长而复杂的生烃过程中,其生烃量与简单的连续生烃相比可能存在显著差异。

**关键词:**热模拟实验;生烃量;生烃史;多旋回叠合盆地;中国

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

## STUDY ON THE HYDROCARBON GENERATION AMOUNT UNDER THE COMPLEX GEOLOGICAL HISTORY IN THE POLY-CYCLIC BASIN

Li Huili<sup>1,2,3</sup>, Shao Zhibing<sup>1</sup>, Jin Zhijun<sup>2</sup>, He Zhiliang<sup>2</sup>

(1. *The West Department of Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Urumchi, Xinjiang*

*830011, China;* 2. *Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China;*

3. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China)*

**Abstract:** The hydrocarbon-generation amounts under the complex geological history in poly-cyclic basin were discussed through several sets of thermal simulation experiments. According to the results of experiments, the hydrocarbon-generation amounts in the continuous generation history is greatly different from the one in the discontinuous histories. When hydrocarbon generation reaction completing, the accumulative hydrocarbon amounts generated in the histories with two discontinuous hydrocarbon generation courses are always more than the hydrocarbon amount generated in the continuous generation history. Moreover, the hydrocarbon-generation amounts are various in different discontinuous generation histories. Based on the discussion about the results of thermal simulation experiments, the differences in the hydrocarbon-generation amount was thought resulting from the different hydrocarbon generation courses, discharging efficiencies and surrounding conditions. It can be deduced that the generated hydrocarbon amount for the old source rocks during the complex and long geological history in the poly-cyclic basin should be different from the hydrocarbon amount for the source rock during the simple continuous generation history in the singular-cyclic basin.

**Key words:** thermal simulation experiment; hydrocarbon-generation amount; hydrocarbon-generation history; poly-cyclic basin; China

中国多旋回叠合盆地中,烃源岩时代古老,且都经历了复杂的构造沉积以及热演化历史,烃源岩生烃史复杂,“二次”乃至“多次”生烃作用普遍发生<sup>[1-11]</sup>。传统的生烃理论认为,无论地质历史时

期的生烃史如何,烃源岩生烃总量维持不变;多次生烃的过程并不改变烃源岩生烃总量,只是改变生烃的时序。长期以来,含油气盆地中资源量的计算就是以传统的生烃模式为指导,以评价烃源岩为主

收稿日期:2006-06-21;修订日期:2007-01-31。

作者简介:李慧莉(1972—),女(汉族),天津武清人,在站博士后,从事石油地质与油气地球化学方面的研究工作。

要手段,通过确定烃源岩的有关地化指标来估算其在地质历史时期中的生烃总量,并未考虑复杂生烃史条件下烃源岩生烃量可能存在的变化。近十几年来的研究表明,复杂生烃史条件下煤的生烃量与简单连续生烃相比存在显著差异<sup>[6,8,12~18]</sup>。因此,非常有必要进一步探讨复杂生烃史条件下烃源岩生烃量的变化特征,这不仅具有理论探索意义,对指导多旋回盆地中的油气勘探也具有重要的实际意义。

本文通过热模拟实验的方法,探讨了不同生烃史条件下低成熟度海相烃源岩样品生烃量的变化特征。

## 1 热模拟实验

### 1.1 实验样品

用于热模拟实验的样品采自楚雄盆地云南茂山尖山村剖面,为泥盆系华宁组海相烃源岩。样品为泥晶灰岩,有机碳含量 0.56%;成熟度较低,沥青反射率  $R_b$  为 0.39%;有机质以无定形腐泥组为主,类型为 1 型。

### 1.2 热模拟实验

为了探讨不同生烃史条件下烃源岩生烃量的变化特征,热模拟实验中设计了 4 组不同的生烃史(图 1),其中 A 为连续生烃方式,B,C,D 为不同热史路径下的不连续生烃方式。依照图 1 中不同的生烃史,共进行了 4 组 27 个温度点的热模拟实验(表 1)。其中,A 生烃史反映了原始样品分别由室温(20)升温至不同温度点的简单连续生烃过程;B,C,D 生烃史反映了原始样品先经历一定温度(325,350,400)的一次生烃后,再分别由室温(20)升温至不同温度点(二次生烃)的不连续生烃过程。

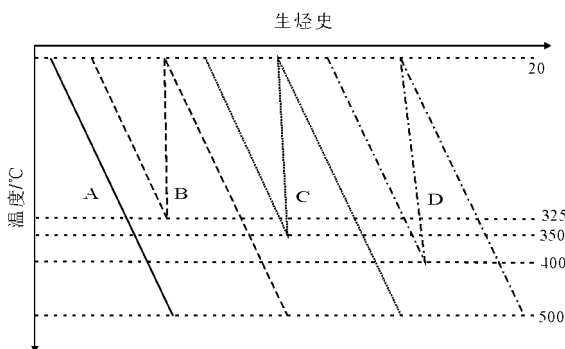


图 1 热模拟实验中不同生烃史示意

A. 连续生烃史; B. 两次不连续生烃史, 一次生烃停止温度 325; C. 两次不连续生烃史, 一次生烃停止温度 350; D. 两次不连续生烃史, 一次生烃停止温度 400

Fig. 1 Diagram of hydrocarbon generation histories in the thermal simulation experiment

表 1 连续生烃与两次不连续生烃热模拟实验方案

Table 1 Designed temperatures for the thermal simulation experiment

生 烃 史	温 度/									
	200	250	300	325	350	375	400	425	450	500
A										×
B	×	×								×
C	×	×	×							×
D	×	×	×	×	×					

注:“ ”为样品进行该温度点下的热模拟实验;“×”为样品未进行该温度点下的热模拟实验。

热模拟实验在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完成,采用该所自行研制的全岩自加压高压釜热模拟实验装置,主要由高压反应釜、温控装置以及产物收集装置 3 部分组成<sup>[19,20]</sup>。

每一个温度点的热模拟实验步骤如下:

样品的准备:碎样与氯仿抽提处理。碎样(40~60 目)是为了使样品均匀受热充分反应,氯仿抽提是为了去除烃源岩样品中的可溶组分,以排除“两次不连续生烃”中前期可溶产物对后期生烃作用的影响,保证不同生烃史条件下的热模拟实验具有可比性。

进样:将经过碎样与氯仿抽提处理后的 100~200 g 样品(原始样品或经历过“一次生烃”的样品)放入高压反应釜中,加入 10 mL 蒸馏水,密封高压反应釜。

高压釜升温、恒温:利用温控装置将反应釜温度程序升温(1 / min)至指定温度,恒温 24 h。

实验产物的收集、计量:将高压反应釜的温度降至室温,打开反应釜,利用设备自带的产物收集装置分别收集气态产物、液态产物(轻质油、凝析油、残留油);计量热模拟实验中的生烃量。

上述热模拟实验条件与方法采用无锡石油地质研究所的统一标准<sup>[19,20]</sup>;氯仿抽提按石油天然气行业标准 SY/T 5118 - 1995 执行。

## 2 热模拟实验结果

热模拟实验结果如图 2 所示。其中,A 生烃史条件下,生烃量为烃源岩连续生烃量,如 A 生烃史条件下,350 生烃量为原始样品由室温升温至 350 生成烃量的总和。B,C,D 生烃史条件下,生烃量为烃源岩两次不连续生烃量之和,如 B 生烃史条件下,400 两次不连续累计生烃量为原始样品 325 一次生烃量与样品 400 二次生烃量之和。

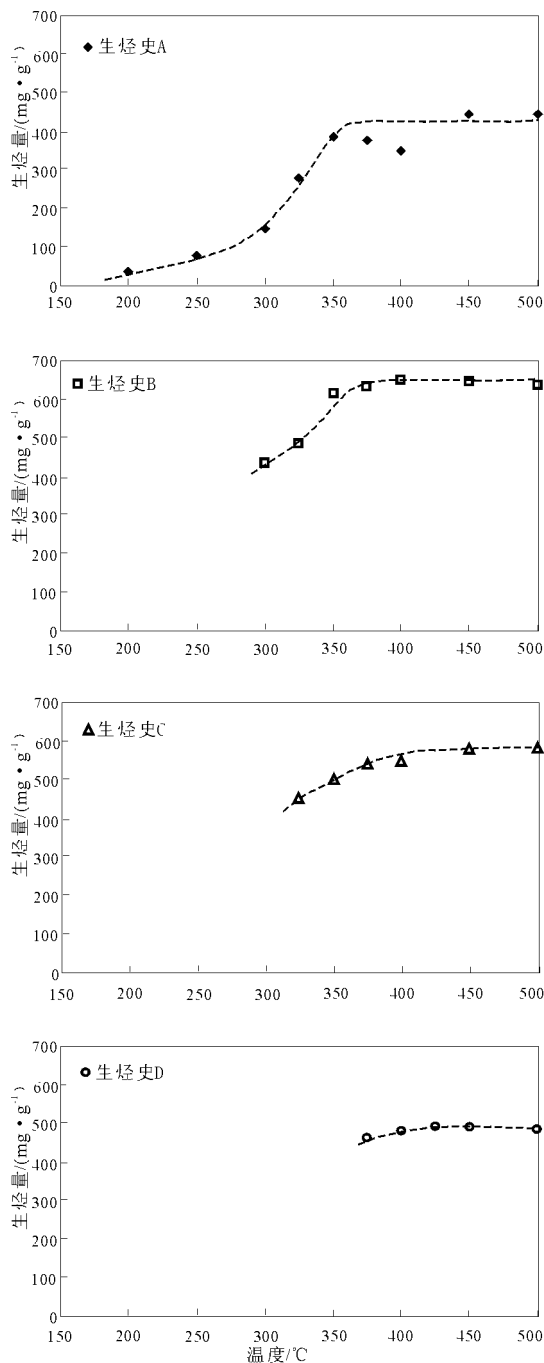


图 2 不同生烃史条件下的热模拟实验结果

Fig. 2 Hydrocarbon generation amounts in the different generation histories

从图 2 中可以看到,4 种生烃史条件下,随着热模拟温度的升高,生烃总量均表现出先逐渐升高后趋于稳定的变化趋势,反映了生烃过程中,随着烃源岩热演化程度的提高,生烃量逐渐增加,生烃潜力不断耗尽的过程。在本文的热模拟实验条件下,无论是“连续生烃”(A)还是“两次不连续生烃”(B,C,D),温度大于 450 后,生烃总量基本维持不变,说明烃源岩生烃潜力耗尽,生烃过程基本完

成,此时的生烃量是烃源岩在某一生烃史条件下,可能生成烃量的极限值。

从热模拟实验结果看,生烃反应较为完全的条件下,烃源岩的生烃史不同,生烃量存在显著差异。图 3 为热模拟温度 500 条件下,经历过不同生烃史样品生烃量的比较。从图 3 中可以看到,生烃反应完全时,经历过两次不连续生烃的烃源岩,其生成的烃类总量始终高于连续生烃量;同时,不同的不连续生烃过程,烃源岩可能生成的最大烃量也不相同。B,C,D 生烃史条件下,烃源岩都经历了 2 次不连续生烃过程,其生烃总量均高于 A 生烃史连续生烃量,且三者的生烃量也互不相同。B 生烃史条件下,样品先经历了 325 的一次生烃,后又经历了不同温度点的二次生烃,生烃反应较为完全的情况下,累计生烃量明显大于原始样品的连续生烃量(A 生烃史);C 生烃史条件下,样品经历了 350 的一次生烃,其累计生烃量也大于连续生烃量,但是比 B 的生烃量小;D 生烃史条件下,样品经历了 400 的一次生烃,其累计生烃量小于 B 与 C 的生烃量,略大于 A 的生烃量。

### 3 实验结果讨论

从热模拟实验的结果看,烃源岩两次不连续生烃总量大于连续生烃量;两次不连续生烃中,生烃史不同烃源岩的生烃量也不相同。以往在对煤的热模拟实验中也有研究人员认为,在生烃反应较为完全的情况下,煤的两次不连续生烃与连续生烃量并不相同,两次不连续累计生烃量始终大于连续生烃量,二者的差值与第二次生烃过程的起始成熟度密切相关<sup>[14]</sup>。这与本文低成熟度海相烃源岩的热模拟实验结果相一致。

实际上,两次不连续生烃总量与连续生烃量的差别主要由烃源岩的“二次生烃量”造成。因为连续生烃与两次不连续生烃中的一次生烃并无差别,

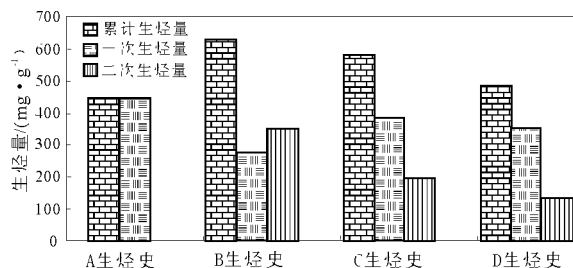


图 3 热模拟温度 500 条件下烃源岩生烃量的比较

Fig. 3 Differences of the hydrocarbon generation amounts at 500 in four generation histories

主要的差别在于烃源岩二次生烃过程与一次生烃并不连续一致。从热模拟实验的结果看,烃源岩“二次生烃量”的多少主要与3方面的条件有关:其一,烃源岩二次生烃潜力,主要取决于烃源岩的品质及二次生烃的起始成熟度;其二,排烃条件,一次生烃结束后的排烃程度对二次生烃量有重要影响;其三,可能存在的外部环境与条件的影响。

如前所述,图3为生烃反应完全的条件下,经历过不同生烃史样品生烃量的比较。从图3中可以看出,两次不连续生烃中,“二次生烃量”的多少与一次生烃的终止温度有关。一次生烃的终止温度越高,烃源岩成熟度越高,一次生烃量越大,烃源岩消耗的生烃潜力也越大,其二次生烃量越小;反之,一次生烃量越小,保留的生烃潜力越大,二次生烃量也越大,其两次累计生烃总量也越大。如B生烃史条件下,样品经历了325的一次生烃,一次生烃量278 mg/g,占连续生烃中烃源岩可能生成烃量的63%,二次生烃量354 mg/g,两次累计生烃总量为632 mg/g;而D生烃史条件下,样品经历了400的一次生烃,一次生烃量351 mg/g,占连续生烃中烃源岩可能生成烃量的79%,二次生烃量135 mg/g,两次累计生烃总量486 mg/g。

不连续生烃中,“二次生烃量”除了与烃源岩本身的生烃潜力(二次生烃初始成熟度)有关外,还受排烃条件与其它外界条件的影响,因为生烃反应完全时,烃源岩两次不连续生烃总量与连续生烃量并不相同(图3)。原因可能来自2个方面:1)热模拟实验中二次生烃的样品经过了氯仿抽提,从化学反应平衡的角度看,这样的处理增加了“排烃”效率,产物的有效“排出”将会增加整个反应的产率。实际的地质情况下,排烃条件的变化更为复杂。从热模拟实验的结果看,排烃效率的不同必将造成二次生烃量的差异;2)烃源岩生烃是一个“去氢富碳”的过程,其热演化的终点为碳原子的集体石墨,相对于碳而言,氢是极度缺乏的。在实际的地质条件下,烃源岩生成烃类的过程并非仅局限于其自身的反应,外界条件的影响不容忽视。比如,“水”的存在几乎贯穿烃源岩生烃过程的始终。以往的研究已经表明,水在烃源岩生烃过程中起着重要的作用。在热模拟实验中,加水实验与干法实验相比,显著的区别在于液态烃中没有烯烃的存在;另外,气态产物中有氢气的生成<sup>[21~24]</sup>。就此而言,水可能为烃源岩的生烃过程提供了“额外”的氢源,本文的热模拟实验中就观察到有氢气的生成(图4)。除此之外,来自地幔或地壳深部的流体以及某些岩

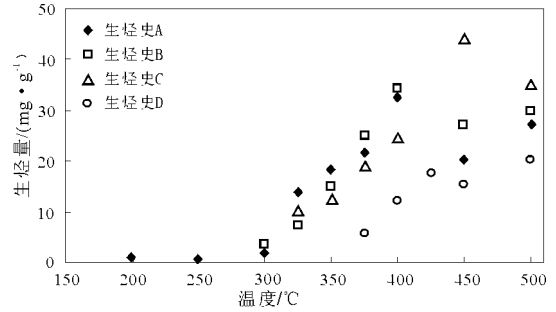


图4 热模拟实验中不同生烃史条件下氢气的生成量

Fig. 4 Hydrogen generation amounts in the thermal simulation experiment

石或矿物成岩及次生变化中的水岩反应也可能为烃源岩的生烃过程提供额外的“氢”源<sup>[25~32]</sup>。这些“氢”源的存在可以使烃源岩在“二次”乃至“多次”生烃过程中生成更多的烃类。“氢”在烃源岩生烃过程中的作用已经为热模拟实验所证实<sup>[33~35]</sup>。从本文的热模拟实验结果看,复杂生烃史条件下,排烃条件与外界因素的影响可能是巨大的,如经历过325一次生烃的样品,其两次不连续生烃总量(631.67 mg/g)比连续生烃量(443.76 mg/g)多40%以上。

## 4 结论

根据本文热模拟实验的结果,不同生烃史条件下,烃源岩的生烃总量并不相同。对于多旋回叠合盆地中的古老烃源岩而言,在复杂生烃史条件下,受生烃过程、排烃条件以及外部环境的影响,生烃总量与简单连续生烃相比可能存在显著的差异。多旋回叠合盆地中对烃源岩生烃潜力的评价应当考虑复杂生烃史条件下生烃量可能存在的变化。此外,非常有必要开展进一步的研究工作。

致谢:本文的热模拟实验研究得到了中国石化西部新区勘探指挥部科研项目《塔里木盆地环阿-满拗陷区动态成藏与勘探策略研究》(XB KY0303)的资助;研究中无锡石油地质研究所秦建中教授、郑伦举高级工程师及有关人员给予了大力支持与帮助,在此一并致谢!

### 参考文献:

- 何治亮, 顾 忆, 高山林. 中国西部多旋回演化与油气聚集[J]. 石油实验地质, 2005, 27(5): 433~438
- 解启来, 周中毅, 施继锡等. 塔里木盆地塔中地区下古生界二次生烃的类型及其特征[J]. 地质论评, 2004, 50(4): 377~383
- 朱炎铭, 秦 勇, 范炳恒等. 武清凹陷石炭—二叠系烃源岩的二

- 次生烃评价[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29(1): 77~84
- 4 冯 乔, 柳益群, 张小莉等. 叠合盆地的热演化史与油气生成: 以吐鲁番—哈密盆地南部构造带为例[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(3): 269~273, 293
  - 5 高 波, 程克明, 张大江等. 酒西坳陷南次凹烃源岩的热演化及生烃史[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(3): 288~293
  - 6 刘成林, 朱筱敏, 费安玮等. 苏北盆地白驹凹陷深层油气成藏研究[J]. 西南石油学院学报, 2003, 17(2): 99~103
  - 7 汤达祯, 王激流, 张君峰等. 鄂尔多斯盆地东缘煤的二次生烃作用与煤层气的富集[J]. 石油实验地质, 2000, 22(2): 140~145
  - 8 曾凡刚, 程克明. 华北地区下古生界海相碳酸盐岩二次生烃作用范围及潜力分析[J]. 地质地球化学, 1998, 26(3): 47~51
  - 9 戴少武, 贺自爱, 王津义. 中国南方中、古生界油气勘探的思路[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 195~209
  - 10 钟宁宁, 穆惠珍, 关金成等. 论华北地区石炭—二叠纪煤系的二次生烃条件[A]. 见: 戴金星, 傅诚德, 关德范编. 天然气研究新进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 134~144
  - 11 邱楠生, 金之钧, 王飞宇. 多期构造演化盆地的复杂地温场对油气生成的影响: 以塔里木盆地塔中地区为例[J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 142~144
  - 12 张润合, 赵宗举, 贺小苏等. 淮南煤矿山西组煤样二次生烃模拟实验研究[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(4): 25~27
  - 13 关德师, 王兆云, 秦 勇等. 二次生烃迟滞性定量评价方法及其在渤海湾盆地中的应用[J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 533~538
  - 14 张有生, 秦 勇, 刘焕杰等. 沉积有机质二次生烃热模拟实验研究[J]. 地球化学, 2002, 31(3): 273~282
  - 15 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): 541~544, 549
  - 16 汤达祯, 王激流, 林善园等. 煤二次生烃作用程序热解模拟试验研究[J]. 石油实验地质, 2000, 22(1): 9~15, 63
  - 17 刘洛夫, 王伟华, 李术元. 干酪根二次生烃热模拟实验研究[J]. 沉积学报, 1995, 13(增刊): 147~150
  - 18 冉启贵. 华北地区上古生界煤岩成烃及二次生烃研究[J]. 天然气地球科学, 1995, 6(3): 13~17
  - 19 秦建中, 刘井旺, 刘宝全等. 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
  - 20 秦建中, 钱志浩, 曹 寅等. 油气地球化学新技术新方法[J]. 石油实验地质, 2005, 27(5): 519~528
  - 21 邱军利, 雷天柱, 夏燕清. 氢气和气态烃在煤成气形成演化研究中的意义[J]. 煤田地质与勘探, 2005, 33(3): 26~29
  - 22 Barth T, Borgund A E, Hopland A L. Generation of organic compounds by hydrous pyrolysis of kimberidge oil shale-bulk results and activation energy calculate[J]. Organic Geochemistry, 1989, 14(1): 69~76
  - 23 Smith J W, Batts B D, Gilbert T D. Hydrous pyrolysis of model compounds[J]. Organic Geochemistry, 1988, 14(4): 365~373
  - 24 Hoering T C. Thermal reaction of kerogen with added water heavy water and pure organic substance[J]. Organic Geochemistry, 1986, 6(4): 267~278
  - 25 孙省利, 郑建京, 刘文汇等. 地壳热水流体在油气形成过程中的作用[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(5): 519~530
  - 26 张铭杰, 王先彬, 李立武. 地幔流体组成[J]. 地学前缘, 2000, 7(2): 401~412
  - 27 金 强. 裂谷盆地生油层中火山岩及其矿物与有机质的相互作用: 油气生成的催化和加氢作用研究进展及展望[J]. 地球科学进展, 1998, 13(6): 542~546
  - 28 李立武, 王先彬, 张铭杰. 橄榄石热解氢释放过程分析[J]. 地球化学, 1998, 27(5): 514~516
  - 29 陈 丰. 氢: 地球深部的重要源泉[J]. 地学前缘, 1996, 3(3~4): 72~79
  - 30 Bayona J M, Monjonell A, Miquel J C, et al. Biogeochemical characterization of particulate organic matter from a coastal hydrothermal vent in Aegean Sea[J]. Organic Geochemistry, 2002, 33: 1609~1620
  - 31 Dando P R, Aliani S, Arab H, et al. Hydrothermal studies in the Aegean Sea[J]. Phys Chem Earth(B), 2000, 25(1): 1~8
  - 32 Coveney R M, Goebel E D, Zeller E, et al. Serpentinization and the origin of hydrogen gas in Kansas[J]. AAPG Bull, 1987, 71(1): 29~48
  - 33 金之钧, 张刘平, 杨 雷等. 沉积盆地深部流体的地球化学特征及油气成藏效应初探[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(6): 559~665
  - 34 杨 雷, 金之钧. 深部流体中氢的油气成藏效应初探[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 337~341
  - 35 Jin Qiang, Xiong Shousheng, Liu Peide. Catalysis and hydrogenation: Volcanic activity and hydrocarbon generation in rift basin, Eastern China[J]. Applied Geochemistry, 1999, 14(5): 547~558