

文章编号: 1001-1986(2006) 01-0030-04

# 南华北地区石炭—二叠纪煤系生烃潜力与二次生烃探讨

解东宁, 周立发 (西北大学地质学系, 陕西 西安 710069)

**摘要:**综合运用岩石热解、有机岩石学及有机地球化学等方法, 对南华北地区石炭—二叠纪煤系烃源岩有机质丰度、类型以及成熟度和热演化史进行了分析, 综合评价了烃源岩的生烃潜力。评价结果表明, 石炭系(太原组+本溪组)烃源岩要好于二叠系山西组、石盒子组; 有机质类型以 III 型干酪根为主、II 型干酪根为辅; 有机质热演化程度大部分处于成熟—高成熟阶段, 部分地区达到过成熟, 以生气为主。文中结合构造—热演化史资料分析了煤系二次生烃的条件, 指出谭庄—沈丘凹陷和倪丘集凹陷初始成熟度较低, 且具有合适的埋藏史类型, 并有二次生烃油气勘探前景。

**关键词:**南华北地区; 石炭—二叠系; 煤系烃源岩; 初始成熟度; 二次生烃

**中图分类号:** TE112. 11; P618. 11 **文献标识码:** A

## Discussion on hydrocarbon generation potential and secondary hydrocarbon generation of organic matter from Permo-Carboniferous coal measures in the southern North China

XIE Dong-ning, ZHOU Li-fa

(Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China)

**Abstract** On the basis of analysis about the abundance and the types of Permo-Carboniferous coal measures organic matters in the southern North China area, and research on the source rocks' maturity and the thermal evolution history, this article evaluates synthetically the hydrocarbon generation potential by means of organic petrology, Rock-Eval and geochemistry. It is concluded that hydrocarbon source rocks of Carboniferous (Taiyuan Formation and Benxi Formation) are better than that of Permian (Shanxi Formation and Shihezi Formation); the type III of organic matter is dominant and the type II is less. Thermal evolution of the most organic matter is in mature stage and high-mature stage, or even over-mature in part area, they are all generating gas. Through systematic research the condition about secondary hydrocarbon generation with the tectonic-thermal evolution history, point out that the Tanzhuang-Shenqiu Depression and the Niqiuji Depression have lower beginning-maturity and superior burial history conditions for secondary hydrocarbon generation and can lead to form gas field.

**Key words:** the southern North China; Permo-Carboniferous coal measures; beginning-maturity; secondary hydrocarbon generation

收稿日期: 2005-04-19

基金项目: 国家重大基础研究计划项目(批准号: 2002CCC01400)和中石化科技攻关项目资助

作者简介: 解东宁(1975—), 男, 河南宁陵人, 博士研究生, 主要从事石油地质综合研究。

有机质丰度、有机质类型以及有机质成熟度综合评价, 长 1 段烃源岩属于较好—好的烃源岩。

### 参考文献

- [1] 陈安宁, 韩永林, 杨翼等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长统成藏地质特征及油藏类型[J]. 低渗透油气田, 2000, 5(3): 30—39.
- [2] 王起琮, 李文厚, 赵虹, 等. 鄂尔多斯盆地东南部三叠系延长组长 1 段湖相油积岩特征及意义[J]. 地质科学, 2006, 41(1), 20—28.
- [3] 苏德造. 记陕北子长晚三叠世—新的古鳄类[J]. 古脊椎动物学报, 1999, 37(4): 257—266.
- [4] 王起琮, 李文厚, 赵虹, 等. 靖边—安塞地区延长组长 1 段沉积相特征[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2005, 20(6): 12—18.
- [5] 张志伟, 张龙海. 测井评价烃源岩的方法及其应用效果[J]. 石

油勘探与开发, 2000, 27(3): 84—87.

- [6] 肖贤明, 毛鹤龄, 等. 从镜质组的成因论其作为烃源岩成熟度指标的意义[J]. 煤田地质与勘探, 1990, 6: 24—30.
- [7] 徐怀先, 陈丽华. 石油地质试验测试技术与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 82—83.
- [8] 姚素平, 张景荣, 胡文奎, 等. 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): 42—47.
- [9] 陈建平, 黄第藩, 陈建军, 等. 酒东盆地油气生成与运移[M]. 北京: 石油工业出版社, 1986: 100—105.
- [10] 罗静兰, 张成立, 阎世可, 等. 盆地埋藏史及其对砂岩储层物性演化的影响[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 123—127.
- [11] 任战利. 鄂尔多斯盆地热演化史与油气关系的研究[J]. 石油学报, 1996, 17(1): 17—26.
- [12] 周江羽, 吴冲龙, 韩志军. 鄂尔多斯盆地的地热场特征与有机质成熟史[J]. 石油实验地质, 1998, 20(1): 20—24.

## 1 引言

南华北地区地处中原和两淮,包括河南省和安徽省大部分地区。大地构造位置属于华北板块南部及其南缘,北以焦作—商丘断裂与渤海湾盆地分界,南抵栾川—确山—固始—肥中断裂与秦岭—大别造山带相邻,西含豫西隆起,东至郯庐断裂,面积约  $15 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。依据中生代地层的发育和分布状况,从北向南划分为6个一级构造单元:开封拗陷、太康隆起、周口拗陷、豫西隆起、徐蚌隆起和合肥拗陷。

目前,区内钻遇上古生界的探井共计26口,其中,23口井可见源自上古生界的油气显示,主要分布于周口拗陷的倪丘集—古城凹陷、鹿邑凹陷、谭庄—沈丘凹陷、襄城凹陷及太康隆起。其中,周口拗陷北部倪丘集凹陷南12井,在古近系玉皇顶组(1 609.6—1 686 m)中途测试获工业油流4.6 t/d,经油源对比分析认为,油源为下伏石炭—二叠纪煤系<sup>[1]</sup>。另外在太康隆起(太参3)、周口拗陷中北部凹陷带(周参7、周参8、周参9、周参13、周16井等)的石炭—二叠系录井中见油气显示,并发现气测异常;西部襄城凹陷襄5井在石炭—二叠系试气获少量天然气等,显示了该区良好的油气勘探前景。本文综合运用岩石热解、有机岩石学及有机地球化学等方法,对井下暗色泥岩样品进行了有机质生烃特征分析,并讨论了石炭—二叠纪煤系的构造—热演化史及二次生烃条件,为南华北地区石炭—二叠纪煤成气勘探选区提供依据。

## 2 含煤地层分布

晚古生代沉积时,南华北地区是华北克拉通盆地的一部分,发育一套由海相、海陆过渡相、陆相沉积组成的含煤地层。上古生界地层受砖淮断裂和三

门峡—宜阳—叶鲁—淮南断裂的控制,其以北的豫西地区、太康隆起、周口拗陷中北部、淮南以及淮北保存较好;(三门峡—宜阳—叶鲁—淮南断裂以南,上古生界剥蚀殆尽,仅零星分布于确山等地。烃源岩主要发育于本溪组、太原组、山西组和石盒子组。岩性组成多样,主要有暗色泥岩、煤和碳质泥岩3种。因受后期构造运动的影响,残存厚度变化较大(约1 000~1 400 m),主要以向斜的形式残存。其中,煤系厚700~950 m,且由西向东,自北往南厚度呈增大趋势(图1)。

## 3 煤系地球化学特征

### 3.1 有机质丰度

有机质丰度是衡量烃源岩生烃能力的基本参数。与水生有机质输入为主的湖相有机质不同,煤及含煤有机质为沼泽环境下沉积的产物,陆生高等植物的输入占绝对优势,沼泽水介质为弱碱—弱酸性,具弱氧化—弱还原特征。因此煤及含煤有机质表现为“高碳高氧贫氢”,不能简单套用湖相有机质评价标准<sup>[2]</sup>。根据煤系烃源岩丰度评价标准<sup>[3-9]</sup>,结合太康隆起、周口拗陷井下石炭—二叠纪煤系暗色泥岩岩石热解的系统分析(表1),综合评价太原组和本溪组暗色泥岩(包括碳质泥岩)为好烃源岩,山西组为中等烃源岩,石盒子组为差—非烃源岩。纵向上,地层由老到新,烃源岩由好变差。平面上,石炭—二叠纪煤系残留较厚的地区,如太康隆起、周口拗陷北部(如鹿邑、倪丘集、襄城凹陷)为有效烃源岩发育区。

另外,山西组煤的有机碳含量平均51.7%;氯仿沥青“A”平均0.021 9%~0.663%,最高达1.596%;总烃平均 $100.5 \sim 2\,418 \times 10^{-6}$ ,最高可达 $14\,226 \times 10^{-6}$ ,生烃潜量为45.2 mg/g。综合评价为

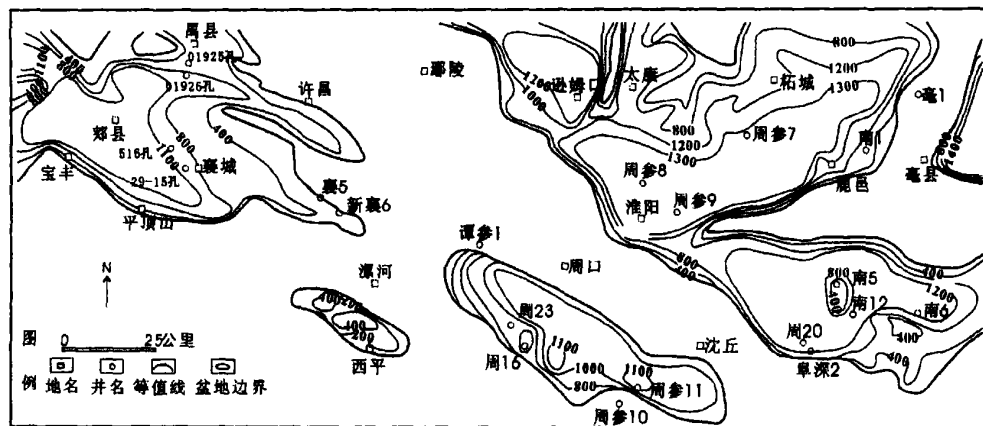


图1 南华北地区石炭—二叠纪煤系残余厚度图

Fig. 1 Remaining stratigraphic isopach maps of Permian-Carboniferous coal measures in the southern North China

表 1 南华北地区上古生界烃源岩(暗色泥岩)岩石热解数据表

Table 1 Organic contents of source rocks of Upper Paleozoic in the southern North China

层位	井名	样品数	有机碳 TOC /%	生烃潜量 (S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> )/mg·g <sup>-1</sup>	最高热解温度 T <sub>max</sub> /℃	氢指数 HI (mg/g·TOC)	综合评价
上石盒子组	襄 5	4	0.18	0.07	447	27	非
	周参 7	11	0.16	0.03	499	17	
	周参 8	6	0.31	0.06	483.5	18	
	南 11	7	0.45	0.31	442	45.1	
下石盒子组	周参 7	23	0.36	0.04	497	11	较差
	周参 8	1	0.17	0.03	487	6	
	周 13	14	0.63	0.36	458	32	
	南 11	5	1.1	0.81	441	59	
	襄 5	4	0.85	0.21	453.5	19	
	新襄 6	6	0.93	0.32	444	32	
山西组	周参 7	33	0.74	0.07	517	12	中等
	南 11	2	1.02	0.62	444	50	
	太参 3	11	0.94	0.06	537	6	
	周 16	1	0.37	0.19	431	49	
太原组	南 11	6	0.93	0.79	446	49	好—较好
	太参 3	44	2.3	0.15	547	10	
	太 4	4	6.0	12.28	521	220	
	周 16	2	1.36	0.51	438	30	
本溪组	太参 3	37	2.97	0.09	508.5	4	好

注: 西北大学大陆动力学实验室岩石热解数据(表中数据为平均值)。

好的烃源岩。

3.2 有机质类型

干酪根镜下鉴定是划分干酪根类型最常用的方法之一。对南华北地区石炭—二叠纪煤及暗色泥岩有机显微组分的统计(表 2)表明: 全区煤岩具典型 II 型干酪根的特征, 只是随着层位不同而略有差异。暗色泥岩有机质以腐殖型为主, 兼有少量混合型。煤和暗色泥岩镜质组质量分数都超过了 60%; 泥岩的壳质组与惰质组的质量分数低, 一般不超过 10%。而在渤海湾盆地冀中坳陷苏桥—文安斜坡带和黄骅坳陷孔古 4 井煤成油气藏地区, 壳质组+惰质组质量分数高, 一般超过 15%, 甚至达到 40%~60%<sup>[7]</sup>。相比而言, 南华北地区太原组煤中富氢镜质体质量分数高, 可达 20% 以上, 生气潜力较强。

干酪根元素分析表明, 泥岩干酪根具氢低、氧高、氢碳原子比较低的特点。氢碳原子比值平均为 0.46~0.92, 氧碳原子比值平均为 0.06~0.11(图 2), 也说明以腐殖型干酪根(II)为主, 存在个别混合型干酪根。

据黄第藩等和河南油田研究院干酪根同位素测定表明, 周口坳陷上古生界 δ<sup>3</sup>C 一般为-22.11~-25.03‰; 太康隆起上古生界 δ<sup>3</sup>C 为-30.274‰~-27‰。规则甾烷三组份 C<sub>27</sub> 为 31.649%, C<sub>28</sub> 为 27.126%, C<sub>29</sub> 为 41.766%, 表明略富 C<sub>29</sub> 的右高左低的“V”形指纹, 进一步说明有机质以 II 型干酪根为主, 见少量 II<sub>2</sub> 型干酪根。

表 2 干酪根类型镜检结果

Table 2 Results of the vitrinite composition

烃源岩	显微组分 /%				干酪根类型
	镜质组	壳质组	惰质组	无定形	
暗色泥岩 (平均值)	60~70	8~10	5~10	<40	III, II
煤岩 (平均值)	60~98	1.36~11.62	3~32.62		III

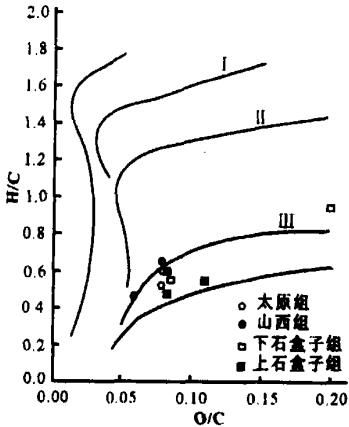


图 2 南华北地区上古生界干酪根元素组成

Fig. 2 Sketch map showing the elemental constitution of kerogen of Upper Paleozoic in the southern North China

3.3 有机质成熟度

本次研究测试获得的本溪组、太原组、山西组、石盒子组暗色泥岩的 T<sub>max</sub>(℃) 分别介于 438~547℃ 之间, 属高成熟—过成熟阶段, 应以生气为主。煤岩样品的 T<sub>max</sub>(℃) 分析结果是: 太原组煤岩(3 个样

品)的 $T_{\max}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )值均大于 $500^{\circ}\text{C}$ ,均值为 $525^{\circ}\text{C}$ 。属过成熟阶段。山西组煤岩样品的 $T_{\max}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )值属高成熟—过成熟阶段,整体以生气为主。煤岩样品的分析结果与暗色泥岩样品(表1)较为一致。

镜质体反射率( $R$ )是最常用的成熟度指标。本区上古生界烃源岩经历复杂的煤化作用,有机质成熟度普遍较高。石炭—二叠系的实测 $R$ 南低北高,由南向北有逐渐增高的趋势,如南6井 $R$ 为 $0.62\%\sim 0.86\%$ ,南14井为 $0.97\%\sim 1.35\%$ ,周参7井为 $1.78\%\sim 1.98\%$ ,太康隆起上的太参2井 $R$ 达 $3.11\%\sim 3.29\%$ 。由南向北每10 km, $R$ 值大约增加 $0.14\%\sim 0.18\%$ , $R$ 低值带呈弧形分布于中部坳陷带的南侧断阶带及斜坡区,高值区分布于鹿邑凹陷北部及太康隆起。

## 4 二次生烃探讨

所谓二次生烃,是指因盆地隆升,地层遭到剥蚀,生烃作用停止,而后期再次沉降,有机质再次生烃的过程。这种因构造运动导致生烃作用断断续续的现象,在华北盆地中并不少见。二次生烃要有两个必要条件的:一是初始成熟度要相对较低;二是埋藏史类型。

### 4.1 初始成熟度

初始成熟度相对较低,这样的烃源岩才有一定的剩余生烃潜力,如果初始成熟度过高,即使二次生烃,对油气聚集意义不大。目前研究认为,华北地区三叠纪地层是普遍沉积的<sup>[8]</sup>,随着中、下三叠统的覆盖,上古生界烃源岩(暗色泥岩)埋深加大,并开始第1次生烃,初始成熟度的大小取决于中、下三叠统的沉积厚度。根据目前中、下三叠统的残留情况可知,中三叠世末期,南华北地区的沉积中心位于济源—洛阳—郑州—太康—鹿邑一带,并向四周减薄。太康—鹿邑地区山西组二1煤的埋藏深度可达3 500 m左右, $R=0.9\%\sim 1.14\%$ ,处于成熟阶段,并生成一定量的油气,对二次生烃不利。而南部倪丘集、谭庄—沈丘、襄城等地区埋深小, $R<0.8\%$ ,成熟度相对较低,为二次生烃提供了条件。

### 4.2 埋藏史类型

南华北地区自印支期构造运动开始,进入了具有多次沉降—隆升的复杂构造演化史阶段。各个凹陷石炭—二叠纪烃源岩的埋藏史差异比较大。主要有以下3种类型:

谭庄—沈丘凹陷型 凹陷内石炭—二叠系沉积后,经历了印支期构造运动的隆升剥蚀;燕山构造运动中期,凹陷被巨厚(4 000 m)的下白垩统沉积所覆

盖,二次深埋,热演化急速增加;燕山构造运动晚期,凹陷再度隆升受剥蚀;喜山期构造运动时,凹陷被再度深埋,局部地区可能深达万 m,热演化程度再次增加。该凹陷经过多期热演化,持续生烃时间长,有机质成熟度一般达到高成熟—过成熟。其具有3期生气过程,且在燕山构造运动晚期生气量最大。据构造研究表明,该地区圈闭定型于早白垩世末和古近系末期,与生烃匹配,对天然气的聚集成藏较为有利。

鹿邑—太康型 在印支期构造运动时,太康、鹿邑地区C—P源岩就已进入第1次生烃高峰(初始 $R=0.9\%\sim 1.14\%$ ),其后地壳抬升,热演化停滞。因随后的燕山期构造运动伴有强烈的岩浆活动,致使淮南、豫西、永夏和鹿邑—太康等地存在大量的岩浆侵入体。受此影响,在前印支构造运动的深成变质作用基础上,太康—鹿邑凹陷又叠加了区域岩浆热变质作用,使烃源岩成熟度猛增。如鹿邑凹陷C—P源岩煤的 $R$ 达 $2.65\%\sim 3.48\%$ ;周参7、8和南4等井的 $R$ 梯度高达 $0.2\%/\text{km}$ ,地温梯度高达 $4.5\sim 5.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ,远远超过深成作用正常的地温梯度( $0.02\sim 0.06^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )。

倪丘集凹陷型 三叠纪一次生烃时,初始成熟度较小( $R$ 为 $0.6\%\sim 0.7\%$ ),虽然经历了中生代的抬升剥蚀,残留烃源岩长期处于热演化的停滞阶段,但使有效烃源得以保存,新生代的断陷过程中,再次埋藏,当深度大于三叠纪沉积时期的埋藏深度时,开始二次生烃。真正大量生烃是从始新世(约40 Ma)开始,并迅速进入生烃高峰,说明喜山期构造运动时为其主力生烃高峰期。从而进一步证实,倪丘集凹陷C—P源岩二次生烃的有效性(已为南12井工业性油藏所证实),且其具有晚期成藏的特点。

## 5 结语

烃源岩综合评价认为,石炭系(太原组+本溪组)烃源岩要好于二叠系山西组和石盒子组;有机质类型以II型干酪根为主,II型干酪根为辅;有机质热演化程度处于成熟—高成熟阶段,部分地区达到过成熟。

二次生烃要有两个必要条件:一是初始成熟度要相对较低;二是埋藏史类型。后期盆地改造过程中,主力烃源岩系保存完整或比较完整,初始演化程度较低,经过一定时期抬升后再次沉降,达到或超过初始的热演化程度后,开始大规模生烃,且二次生烃后的改造强度较弱,保存条件好,所生成的烃类有效聚集成藏,如谭庄—沈丘凹陷和倪丘集凹陷等。

文章编号:1001-1986(2006)01-0034-03

# 地形对水平岩层自重成因地应力场的影响

陶波<sup>1,2</sup>, 伍法权<sup>2</sup>, 郭改梅<sup>2</sup>

(1. 石油大学(北京)资源与信息学院, 北京 102249;

2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

**摘要:**通过极坐标系下的艾里应力函数法, 求解出在集中力作用下水平岩层中各应力分量。山体对其下伏岩层可作为分布载荷, 对集中力作用下水平岩层中各应力分量积分, 便求得山体对下伏水平岩层的附加应力。已有研究成果表明, 当由外载引起的附加应力小于由重力引起的静止侧压力的20%时, 则可以不考虑外载的影响, 这样便导出了地形对自重应力影响深度所满足的函数关系式。此外, 本文举例说明了如何求得地形对水平均质各向同性水平岩层的自重应力场的影响深度。

**关键词:**地形; 自重应力场; 影响深度; 弹性力学

**中图分类号:**P642.4 **文献标识码:**A

## Topography's influence on self-weight stress field of horizontal rock formation

TAO Bo<sup>1,2</sup>, WU Fa-quan<sup>2</sup>, GUO Gai-mei<sup>2</sup>

(1. Institution of Information and Resource, Petroleum University, Beijing 102249, China;

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Author presents stress component's expression under polar coordinate while a single force is applied to horizontal rock formation by means of Airy's stress function. Author regards topography's effect on underlying horizon rock formation as distributed load, thus obtains expression of subsidiary stress induced by distributed load by integral action. According to present achievement, when subsidiary stress caused by distributed load is less than 20 percent of static lateral pressure induced by gravitation, distributed load's effect may be ignored. Therefore, the expression of topography influence depth on self-weight stress field is obtained. Furthermore, the paper illustrates how to obtain topography influence depth on self-weight stress field of horizontal, homogeneous and isotropic strata.

**Key words:** topography; self-weight stress field; influence depth; elastic mechanics

## 1 引言

在地应力实测中, 测量点位置的选择对测量结果影响较大。位置的选择既要考虑工程建设的需要, 也要考虑各种影响测试结果的因素, 如地形、岩性及破碎带等<sup>[1,2]</sup>。在地壳的一定深度范围内, 地形对地应力的分布特征有较大影响。相对于地壳来说, 某一突出的山体只相当于一个局部荷载施加于

地壳表面, 据圣维南原理, 该影响是局部性的, 随着深度的增加, 逐渐减弱直至可以忽略。地应力实测点的位置既要避开破碎带, 也要布设于地形影响范围之外, 才能真实的反映工程区地应力场的分布特征<sup>[3]</sup>。不同的山体形态, 影响深度是不同的。本文在一些假设条件的基础上, 通过弹性力学中的艾里应力函数法, 寻求到一条研究地形对自重成因地应力场影响深度的途径。

**收稿日期:**2004-04-21

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(90302011)

**作者简介:**陶波(1976—), 男, 四川资中人, 石油大学资源与信息学院博士研究生, 从事深埋长隧道围岩变形方面的研究工作。

## 参考文献

- [1] 全欲科. 倪丘集凹陷煤成油的地球化学特征[J]. 河南石油, 1992, 6(1): 43—48.
- [2] 王德仁, 周开义, 常俊合, 等. 东濮凹陷煤系烃源岩评价中的几个问题[J]. 大庆石油地质与开发 2003 22(6): 11—12
- [3] 黄第藩, 熊传武. 含煤地层中石油的生成、运移和生油潜力评价[J]. 勘探家, 1996, 1(2): 6—11.
- [4] 程克明. 吐哈盆地油气生成[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 5—84.
- [5] 黄第藩, 华阿新, 王铁冠, 等. 煤成油地球化学新进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992, 16—79.
- [6] 李荣西, 高云文. 煤系烃源岩与油气成藏[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2004, 28—34.
- [7] 王延斌, 韩德馨. 渤海湾盆地上古生界油气生成的控制因素[J]. 煤炭学报 2000, 25(6): 561—564
- [8] 王同和, 王喜双. 华北克拉通构造演化与油气聚集[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 85—88.