

文章编号: 1001- 6112(2011)02- 0142- 06

南华北地区上古生界烃源岩异常热演化因素探讨

程 喆¹, 徐旭辉¹, 王荣新², 武明辉¹, 辛黎莉³

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油化工股份有限公司 河南油田分公司 石油勘探开发研究院, 河南 南阳 473132; 3. 西南石油大学 石油工程学院, 成都 610500)

摘要: 南华北地区上古生界分布广泛, 烃源岩厚度稳定, 有机质丰度高, 多为Ⅱ₂—Ⅲ型。经历印支、燕山、喜山等多期差异性构造运动改造, 致使烃源岩热演化程度参差不齐, 这是南华北地区油气资源评价与勘探选区中至关重要的参数。从南华北地区上古生界烃源岩热演化特征入手, 通过对造成上古生界烃源岩热演化异常的因素分析, 认为南华北地区上古生界烃源岩异常热演化以深成热变质作用为主, 中生代普遍发生的地壳热隆升造成了上古生界烃源岩热演化具有南北分区的特点, 中生代以来的岩浆作用是造成局部地区热演化程度较高的根本原因, 区域动力变质作用及重力滑动作用对热演化具有一定的促进作用。南华北地区上古生界有效油气资源分布于围绕现今高演化区的边缘带, 即洛阳伊川—巨陵襄城—鹿邑—譚庄沈丘—倪丘集—颜集等地区, 是南华北地区上古生界油气勘探的有利地区。

关键词: 烃源岩; 热演化; 构造—热事件; 上古生界; 南华北

中图分类号: TE122. 1⁺ 1

文献标识码: A

Reasons for abnormal thermal evolution of source rocks in Upper Paleozoic, southern North China

Cheng Zhe¹, Xu Xuhui¹, Wang Rongxin², Wu Minghui¹, Xin Lili²

(1. SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration & Production, SINOPEC He'nan Oilfield Company, Nanyang, He'nan 473132, China; 3. School of Petroleum Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China)

Abstract: The Upper Paleozoic is widely distributed in southern North China with thick source rock and high organic abundance, mainly Ⅱ₂—Ⅲ type. Multiple stages of deformation during Indosinian, Yanshanian and Himalayan resulted in the differences in thermal evolution degree between source rocks, which was the key factor for petroleum resource evaluation and exploration target identification in southern North China. Based on thermal evolution characteristics of source rocks in the Upper Paleozoic of the study area, the reasons for abnormal thermal evolution were found out, mainly hypozoic thermal metamorphism. Crust uplift during Mesozoic resulted in the south and north division of thermal evolution of source rocks in the Upper Paleozoic. Magmatism ever since Mesozoic was the root cause for regional high degree thermal evolution. Regional dynamometamorphism and gravitational sliding also helped thermal evolution. Industrial petroleum resources in the Upper Paleozoic are mainly found around the edge of high thermal evolution zone, such as Yichuan of Luoyang—Xiangcheng of Juling—Luyi—Shenqiu of Tanzhuang—Niqiuji—Yanji. They are the regions favorable for Upper Paleozoic petroleum exploration in southern North China.

Key words: hydrocarbon source rock; thermal evolution; tectonic—thermal event; Upper Paleozoic; southern North China

1 地质概况

南华北地区位于秦岭—大别造山带之北、焦作—商丘—丰沛断裂以南, 郯庐断裂以西, 地跨华北地台

稳定块体、地台南缘变形带和秦岭—大别造山带北部边缘^[1]。其构造演化既受秦岭—大别造山带的控制^[1], 又受到中生代中国东部构造演化及郯庐断裂系的影响^[2-3]。南华北地区上古生界为一套含多

收稿日期: 2011- 01- 10; 修订日期: 2011- 03- 15。

作者简介: 程喆(1964—), 男, 高级工程师, 从事石油地质综合研究与油气勘探规划工作。E-mail: chengzhe@pepris.com。

基金项目: 全国油气资源战略选区调查与评价项目(XQ- 2007- 02)。

段工业煤层的煤系地层, 石炭—二叠系地层总厚度 1 000~ 1 500 m, 其中煤系地层 800~ 900 m, 煤系烃源岩具有分布范围广、厚度大、层系多、厚度变化小、岩性分布稳定的特点^[4-5]。

南华北地区多口探井如南 12、襄 9、周参 13 等井在石炭—二叠系中见油气显示并试获少量油气^[6-8], 反映了南华北地区上古生界具备油气成藏的基本石油地质条件。但经历印支、燕山、喜山等多期差异性改造, 致使烃源岩热演化程度参差不齐^[9-11], 导致其油气成藏过程极其复杂, 直接影响了选区评价与勘探工作。

2 沉积背景及地球化学特征

晚古生代中石炭世海水由北东方向侵入该区, 其沉积、沉降中心由北向南迁移, 石炭系沉积体整体呈现由北向南超覆。中石炭世末—晚石炭世初, 古地形转变为向东南方向倾斜的海底斜坡, 海水来自南东方向, 确山—淮南一带为海水进出的主要通道。这种古地形特征一直保持到晚二叠世早期, 石炭—二叠系形成一套以海陆交互相为主的煤系烃源岩^[3, 12-13]。

上古生界经历了多期次的构造改造, 晚三叠世—中侏罗世早期, 受南北向挤压作用影响形成一系列的 NWW 向巨型隆凹褶皱; 中侏罗世晚期—早白垩世左行走滑改造、早白垩世末期的挤压回返、喜山期受滨太平洋体系影响, 区域性的块断深埋, 现今主要以复式向斜的形式残存于中生代凹陷中, 印支期古背斜带核部上古生界剥蚀严重^[14]。

平面上, 上古生界的保存主要受北西向的确山—固始断裂、三门峡—宜阳—鲁山—淮南断裂、砖

淮断裂, 以及北东向的郟庐断裂、夏邑—涡阳—麻城等断裂的控制。在三门峡—宜阳—鲁山—淮南断裂以及砖淮褶皱带以北、夏邑—涡阳—麻城断裂带以西的济源—开封拗陷带、豫西、太康—鹿邑—倪丘集、周口拗陷的中西部等地区保存较为完整, 分布连片。而徐州—蚌埠隆起、周口拗陷的南带、信阳—合肥等地区则剥蚀较为严重, 除汝南、淮南等地区外, 石炭—二叠系多已剥蚀殆尽, 剥蚀强度由南向北、由东向西呈减弱趋势^[14]。残存面积约 $5.7 \times 10^4 \text{ km}^2$, 厚度一般 400~ 1 300 m, 埋深 500~ 8 000 m。

上古生界发育暗色泥岩、碳质泥岩、煤和碳酸盐岩 4 种烃源岩类型。有效烃源岩主要分布于太原组、山西组和下石盒子组。有机质丰度中等, 类型以 II 型为主, 少量 II 型, 总体处于低成熟—过成熟阶段。煤层累计厚度 10~ 48 m, 一般 10~ 30 m, 氯仿沥青“*A*”主要介于 1.08%~ 2.15%, 有机碳主要介于 51%~ 74%。暗色泥岩、碳质泥岩厚度 200~ 500 m, 平均 300 m 左右, 一般占地层总厚的 40%~ 50%, 平均有机碳 0.52%~ 1.51%; 有效煤系烃源岩厚度一般 20~ 150 m, 占地层总厚的 5%~ 15%, 平均有机碳 1.75%~ 3.93%。太原组灰岩、泥灰岩厚度 30~ 50 m, 占地层总厚的 2%~ 8%, 平均有机碳 0.18%~ 1.34%, 有效烃源岩一般厚 0~ 30 m, 平均有机碳 0.45%~ 1.34%。

3 烃源岩有机质热演化特征

平面上, 南华北地区上古生界煤系烃源岩镜质体反射率展布总体上呈“北高南低、西高东低”之势 (图 1), 现今西北部山西组异常演化区煤 *R*_o 一般

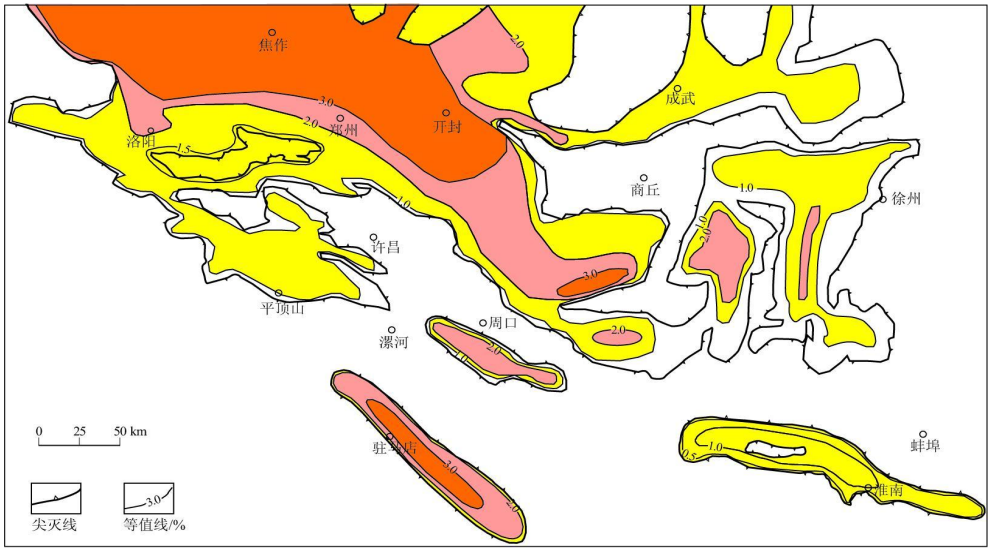


图 1 南华北地区上古生界 *R*_o 分布等值线

Fig. 1 Contour map of the *R*_o value in the Upper Paleozoic of southern North China

大于 3.50%, 甚至高达 5.0% 以上, 处于过成熟阶段; 成熟阶段。
南部 R_o 值 0.7%~1.0%, 处于成熟阶段; 东部
 R_o 值最低, 主要为 0.50%~1.0%, 处于低成熟—

据区内 500 余个煤、泥岩、碳质泥岩镜质体反
射率测定统计(表1), 结合南华北地区地震解释资

表 1 南华北地区上古生界镜质体反射率数据

Table 1 Data of the vitrinite reflectance in the Upper Paleozoic of southern North China

地区	层位	岩性	$R_o/\%$		样品数/个	成熟度	异常影响因素
			范围	平均值			
太康隆起	上石盒子组	煤	2.18~2.29	2.24	2	过成熟	火成岩、地壳热隆升
	下石盒子组	泥岩	0.91~1.89	1.55	3	成熟—高成熟	火成岩、地壳热隆升
	山西组	煤	2.44~7.0	4.31	6	过成熟	火成岩、地壳热隆升
	太原组	煤	2.12~9.0	4.46	14	过成熟	火成岩、地壳热隆升
	本溪组	碳质泥岩		2.68	1	过成熟	火成岩、地壳热隆升
鹿邑凹陷	石千峰组	泥岩		1.54	1	成熟—高成熟	
	上石盒子组	泥岩	1.05~1.97	1.49	13	成熟—高成熟	火成岩、地壳热隆升
	下石盒子组	碳质泥岩、煤	1.45~2.30	1.95	16	高成熟—过成熟	火成岩、地壳热隆升
	山西组	碳质泥岩、煤	1.05~2.54	2.17	42	成熟—过成熟	火成岩、地壳热隆升
	太原组	碳质泥岩、煤	2.14~2.80	2.46	16	过成熟	火成岩、地壳热隆升
舞阳凹陷	石炭—二叠系	泥岩	0.79~1.55	1.05	3	成熟—高成熟	
襄城凹陷	下石盒子组	泥岩	0.72~1.05	0.88	11	成熟	
	山西组	泥岩	1.04~1.16	1.10	2	成熟	
谭庄凹陷	下石盒子组	泥岩	0.60~0.74	0.67	2	低成熟	
	山西组	泥岩		0.63	1	低成熟	
	太原组	泥岩	0.65~0.73	0.69	2	低成熟	
沈丘凹陷	山西组	泥岩	1.16~1.18	1.17	2	成熟	
倪丘集凹陷	二叠系		0.62~2.0	0.91	43	低成熟—成熟	
焦作煤矿	山西组	煤	4.39~5.39	4.89	6	过成熟	重力滑动构造
	石千峰组	泥岩		0.79	1	低成熟	
	上石盒子组	泥岩		0.77	1	低成熟	
洛阳地区 煤矿、剖面	煤		0.68~1.05	0.86	3	成熟	
	下石盒子组	泥岩		1.17	1	成熟	
	山西组	泥岩	0.84~1.41	1.07	3	成熟	
		煤	0.71~6.78	2.72	70	成熟—过成熟	重力滑动构造
	太原组	煤	1.94~3.11	2.53	6	高成熟—过成熟	重力滑动构造
平顶山煤矿	本溪组	煤	1.28~1.54	1.41	4	成熟—高成熟	
	山西组	煤	0.70~1.75	0.98	13	成熟—高成熟	
	本溪组	煤		1.42	1	成熟	
禹州地区 煤矿、剖面	石千峰组	泥岩	0.20~1.30	0.58	3	未成熟—成熟	
	上石盒子组	碳质泥岩	0.85~1.59	1.18	5	成熟	
	下石盒子组	泥岩	0.64~0.81	0.74	3	低成熟	
		煤	1.34~1.87	1.60	3	高成熟	
	山西组	煤	0.57~7.8	1.91	71	低成熟—过成熟	火成岩、重力滑动构造
新密煤矿	太原组	泥岩	0.69~0.83	0.76	2	低成熟	
	本溪组	煤	1.74~2.28	2.01	2	高成熟—过成熟	重力滑动构造
	山西组	煤	2.19~2.64	2.33	8	过成熟	重力滑动构造
永城煤矿	下石盒子组	泥岩	0.63~1.83	1.20	6	低成熟—高成熟	火成岩接触变质
		煤	1.79~7.41	2.67	52	高成熟—过成熟	火成岩接触变质
	山西组	煤	2.45~6.78	3.54	13	过成熟	火成岩接触变质
淮南煤矿	下石盒子组	煤	0.68~0.82	0.75	7	低成熟	
淮北煤矿	上石盒子组	煤	0.75~0.78	0.76	2	低成熟	
	下石盒子组	煤	0.78~0.93	0.85	3	低成熟—成熟	
	山西组	煤	0.43~0.58	0.53	26	未成熟	
徐州煤矿	下石盒子组	煤	0.75~0.85	0.80	2	低成熟	
	山西组	煤	0.60~1.36	0.84	36	低成熟—成熟	
	太原组	煤	0.54~0.79	0.62	4	低成熟	
济宁地区	山西组	煤	0.65~0.74	0.72	14	低成熟	
	本溪组	煤	0.58~0.73	0.66	29	低成熟	

料及断裂构造、火成岩活动情况分析认为, 鹿邑—中牟—济源—焦作地区 R_o 值 2.0% ~ 3.0% 以上, 处于高成熟—过成熟阶段, 主要由中生界正常深成变质与地壳热隆升异常热演化叠加作用造成。洛阳—伊川地区上古生界山西组二₁ 煤 R_o 值多数大于 4.0%, 主要由正常深成变质作用及构造重力滑动等异常热演化叠加作用造成。太康、永城、夏邑地区煤层 R_o 值 2.0% ~ 9.0% 不等, 处于高成熟—过成熟阶段, 主要是地壳热隆升及火成岩活动造成。汝南—东岳凹陷 R_o 值 2.0% ~ 3.0% 以上, 处于高成熟—过成熟阶段, 主要是由正常热演化及构造挤压、火成岩活动等异常热演化叠加作用造成。洛阳伊川—巨陵襄城—鹿邑谭庄沈丘—倪丘集—颜集地区 R_o 值 0.7% ~ 1.5%, 主要处于成熟阶段, 为正常热演化形成, 其中鹿邑、谭庄—沈丘凹陷中生界沉积厚度巨大, R_o 值相对较高, 深埋区达 2.5% 以上。淮北、徐州地区 R_o 值 0.5% ~ 1.0%, 处于低成熟—成熟阶段^[15], 为正常热演化形成(表 1)。

4 异常热演化因素分析

南华北地区上古生界整体属于正常深成变质作用, 局部地区或局部层段存在异常高演化, 存在地壳热隆升、火成岩接触变质及构造掀斜作用造成的重力滑动等异常变质作用^[16-18], 热演化异常因素分析如下。

4.1 地壳热隆升

岩石圈减薄与软流圈上涌可能是南华北北部济源—中牟—太康异常高热演化带形成的深部原因。

大量研究表明, 华北克拉通岩石圈在中生代晚期, 发生了巨量的厚度减薄和破坏。由上海奉贤至内蒙古阿拉善左旗和湖北随州至内蒙古喀喇沁旗地学大断面资料揭示(图 2), 莫霍面形态表现为豫东薄壳区、豫西厚壳区^[19]。

岩石圈减薄过程可能具有复杂、多阶段和时空非均一性。目前对于华北克拉通破坏的机制、时限等仍存在很多分歧。一般认为, 华北岩石圈减薄始于扬子板块与华北板块在南北方向的俯冲、碰撞、缩短和折返, 两者密切相关。伴随着岩石圈的减薄, 巨厚的岩石圈物质被软流圈物质取代, 此外还导致岩石圈的显著不稳定和不平衡, 以致软流圈物质与能量注入岩石圈, 产生构造—岩浆事件; 同时, 上涌的地幔热流可显著地导致岩石圈的减薄及地壳的热隆升, 引起区域性的高地温场。庆阳—富县—焦作—太康为异常高热演化带($R_o > 3.0\%$), 该带与东秦岭—大别造山带相距 188~233 km, 呈近

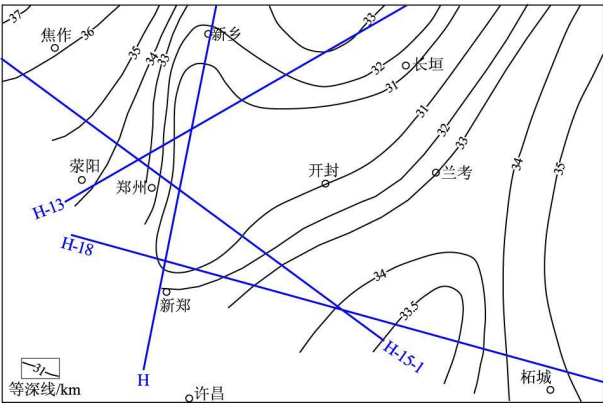


图 2 南华北地区北部莫霍面深度分布
H-13 为郑州—济南剖面; H-15-1 为郑州—银川剖面(东段);
H-18 为灵宝—郑州剖面; H 为湖北随州—内蒙古喀喇沁剖面

Fig. 2 distribution of the Moho depth in the north of southern North China

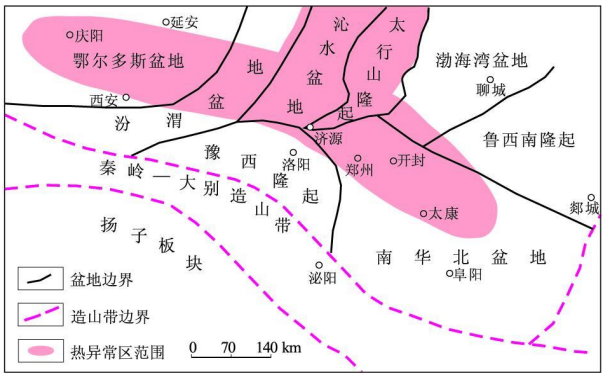


图 3 南华北及邻区热异常区范围^[20]

Fig. 3 The geothermal anomaly areas in southern North China and its near area

平行关系^[20](图 3)。

4.2 火成岩接触变质

以火成岩作为载体, 异常高温的热液热气与煤层直接接触, 使其向更高的煤阶演化或发生变质; 火成岩体的大小, 影响热演化程度的高低和接触变质带的范围和分布。

南华北地区从太古代到新生代各个地质时期都有规模不等的岩浆活动。其中燕山期岩浆活动较为强烈, 沿 NW 向断裂分布, 周口坳陷的南部凹陷带、信阳—合肥盆地充填了巨厚的火山碎屑岩^[21]。

豫东永城、夏邑、安徽淮北等地区局部见到火成岩的侵入。岩浆热液热气与石炭—二叠系有机质或煤层直接接触, 形成火成接触变质类型, 煤种分布复杂多样, 导致短距离内煤牌号从接触火成岩部位的天然焦逐渐过渡到无烟煤、贫煤至肥气煤, 在较小范围内呈环状分布^[22](图 4), 与区域性深成变质作用有着本质的区别。

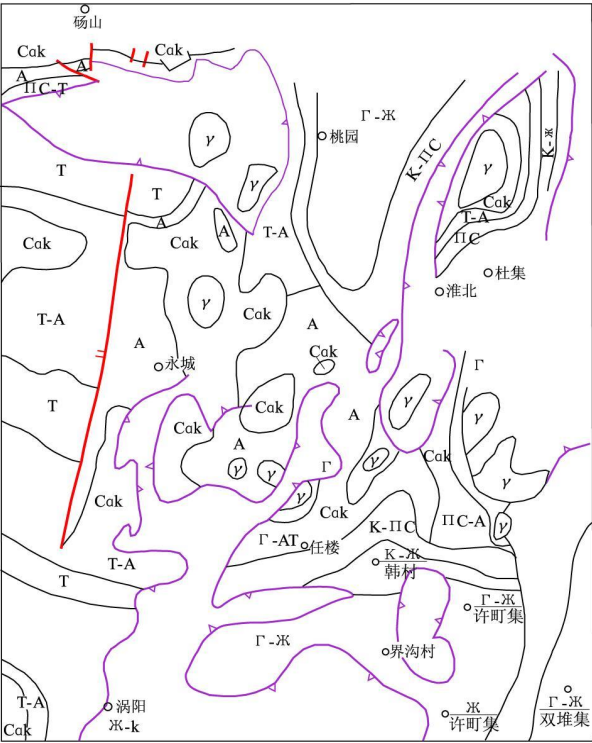


图 4 南华北永城地区火成岩及煤种分布

Ⅴ. 燕山期火成岩; Cak. 天然焦; A. 无烟煤; T. 贫煤;
K. 焦煤; IIC. 瘦煤; 肥煤; 气煤

Fig. 4 Distribution of the igneous rocks and coal types in Yong Cheng area, southern North China

再如鲁西南官桥煤田, 火成岩侵入到煤层, 煌斑岩厚 0.65 m, 距煌斑岩 0.49 m 的煤层变为天然焦, 向外逐渐变为属正常煤种的肥气煤, 镜质体反射率仅 0.812%~0.881%; 煤层挥发分距煌斑岩由近到远, 亦出现短距离内的急剧变化。由此说明, 火成岩接触变质作用对有机质的热演化影响范围有限^[22]。

4.3 重力滑动构造

燕山运动晚期一喜山期的构造运动以大规模块断掀斜滑动为特征, 在煤系地层中形成众多的滑动构造, 对煤层煤体结构造成了严重的破坏和改造。动力作用导致滑动面附近热演化异常^[23-26]。

据河南煤田地质勘探公司等单位研究, 豫西石炭二叠系重力滑动构造主要形成于燕山运动晚

期一喜山期, 规模大, 数量多, 分布密集。平面展布范围可从一个井田至数个井田, 甚至一个矿区到数个矿区, 分布面积可达数平方千米至数百平方千米。其中分布多集中在嵩箕地区。据本区内 16 个滑动构造面统计, 滑动面积 2~264 km² 不等, 总面积大于 670 km²。其中, 12 处发生在山西组, 合计面积大于 640 km²; 6 处发生在二₁ 煤层中, 合计面积大于 513 km²^[23]。

巩义鲁庄煤矿山西组二₁ 煤及其底板泥岩、碳质泥岩的 R_o 和伊利石结晶度 (CIS) 分析发现, R_o 和 CIS 出现背离的特征 (表 2)。一般伊利石结晶度指数 0.42 所对应的 R_o 值为 2.0%, 0.25 所对应的 R_o 值为 4.0%^[27]。由此推测, 巩义鲁庄煤矿二₁ 煤由于重力滑动而动力变质所叠加的 R_o 值至少在 2.0% 以上。

但是, 滑动构造对上古生界的改造影响仅限于滑动面及其上下围岩, 同火成岩接触变质类似, 仅为局部地区局部层段的热演化异常。因此在分析古生界热演化特征时, 对煤层 (尤其山西组二煤段煤层) 的 R_o 值应结合煤体结构等多种因素具体分析。

5 结论

南华北地区上古生界煤系烃源岩有机质总体处于低成熟一过成熟的热演化阶段, 总趋势为沿着济源—焦作—太康高演化带呈环带状分布, 具北高南低、西高东低特征。存在济源—焦作—中牟—太康—鹿邑、永城—夏邑、汝南—东岳等多个 R_o 高值区。其中济源—焦作—中牟—太康—鹿邑地区的高演化与岩石圈减薄、软流圈上涌导致地壳热隆升有关, 同时在济源、中牟、鹿邑地区亦存在中生界叠加深埋的深成变质作用影响; 永城—夏邑地区的高演化为燕山期岩浆活动影响所致; 汝南—东岳地区由正常深成变质作用及构造挤压、火成岩活动等异常热演化叠加作用造成; 洛阳—伊川、谭庄—沈丘、颜集—倪丘集地区的高演化主要为燕山—喜山巨厚沉积深成变质作用所致。因此, 南华北地区

表 2 南华北地区巩义市鲁庄煤矿二₁ 煤及泥岩、碳质泥岩 R_o 与 CIS 值对比

Table 2 Comparison of R_o and CIS for the II₁ coal, mudstone and carbargilite in Luzhuang coal mine, Gongyi city, southern North China

岩性	CIS/(°Δ2θ)	R_o /%	CIS 标准/(°Δ2θ)	对应等效 R_o /%
泥岩 (II ₁ 煤底板)	0.52	4.402	> 0.42 (未成熟—高成熟)	< 2.0
煤 (II ₁ 煤)		4.53	0.42~0.25 (过成熟)	2.0~4.0
灰黑色碳质泥岩	0.53	4.941	< 0.25 (变质)	> 4.0
黑色煤		4.886		

上古生界下一步的油气勘探应着眼于地层保存较好、烃源岩热演化适中、构造活动相对较弱的区域,即洛阳伊川—巨陵襄城—鹿邑谭庄沈丘—颜集倪丘集一带。

参考文献:

[1] 刘光祥,黄泽光,高长林,等. 中国东部中央造山带两侧盆地与油气[M]. 北京:石油工业出版社,2007:115- 140.

[2] 焦大庆,张洪年,谢晓安,等. 华北南部油气地质条件[M]. 北京:地质出版社,2009:69- 112.

[3] 陈世悦,刘焕杰. 华北地台东部石炭—二叠纪岩相古地理特征[J]. 中国区域地质,1997,16(4):132- 140.

[4] 王荣新,赵刚,邓世英. 南华北上古生界烃源岩有机地球化学特征[J]. 石油实验地质,2008,30(5):499- 502.

[5] 全书进,饶丹. 周口凹陷上古生界油气资源潜力分析[J]. 石油实验地质,2004,26(6):542- 546.

[6] 全裕科. 南华北盆地倪丘集凹陷油气显示特征及找油意义[J]. 石油实验地质,2006,28(4):370- 374.

[7] 饶丹,全书进. 南华北盆地周口凹陷周参10井低产油流剖析[J]. 石油实验地质,2005,27(6):612- 618.

[8] 解东宁,周立发. 南华北地区石炭—二叠纪煤系生烃潜力与二次生烃探讨[J]. 煤田地质与勘探,2006,34(1):30- 33.

[9] 任战利. 中国北方沉积盆地构造热演化史研究[M]. 北京:石油工业出版社,1999:6- 42.

[10] 张鹏,王良书,刘绍文,等. 南华北盆地群地温场研究[J]. 地球物理学进展,2007,22(2):604- 608.

[11] 王传刚,胡宗全,许化政,等. 叠合盆地老烃源岩系油气勘探前景评价方法[J]. 石油学报,2008,29(1):10- 22.

[12] 郭英海,刘焕杰,权彪,等. 鄂尔多斯地区晚古生代沉积体系及古地理演化[J]. 沉积学报,1998,16(3):44- 51.

[13] 武法东,陈钟惠,张守良,等. 华北石炭二叠纪的海侵作

用[J]. 现代地质,1995,9(3):284- 291.

[14] 余和中,韩守华,谢锦龙,等. 华北板块东南缘原型沉积盆地类型与构造演化[J]. 石油与天然气地质,2006,27(2):244- 252.

[15] 吴文金,刘文中,陈克清. 淮北煤田二叠系沉积环境分析[J]. 北京地质,2000(3):21- 25.

[16] 胡俊卿,严永新,吴官生,等. 南华北地区石炭系二叠系有机质热演化成因类型研究[J]. 石油天然气学报,2005,27(5):554- 556.

[17] 刘丽,任战利. 济源—中牟—黄口凹陷带热演化史与油气的关系[J]. 石油与天然气地质,2007,28(3):355- 361.

[18] 秦建中,李志明,张志荣. 不同类型煤系烃源岩对油气藏形成的作用[J]. 石油勘探与开发,2005,32(4):131- 136.

[19] 王国灿,杨巍然. 大别造山带中新生代隆升作用的时空格局:构造年代学证据[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1998,23(5):461- 467.

[20] 刘池阳,赵俊峰. 南华北地区古生界构造热体制特征研究[R]. 西安:西北大学,2009.

[21] 杜建国,张鹏. 大别山造山带北部的中生代火山岩[J]. 现代地质,1999,13(1):57- 65.

[22] 徐世庸. 华北盆地南部石炭、二叠系煤成气形成条件及远景评价[R]. [存放地不祥],1985.

[23] 曹代勇,王昌贤. 豫西煤田重力滑动构造形成条件分析[J]. 河南地质,1994,12(1):28- 34.

[24] 钟宁宁,曹代勇. 华北聚煤区南部煤变质作用类型及其控制因素探讨[J]. 中国矿业大学学报,1992,21(3):86- 93.

[25] 张年茂. 豫西荊巩—新密煤田太原组、山西组的沉积环境和聚煤规律[J]. 现代地质,1988,2(2):226- 240.

[26] 赵俊峰,刘池阳,王晓梅. 镜质体反射率测定结果的影响因素[J]. 煤田地质与勘探,2004,32(6):15- 17.

[27] 王河锦,周健. 关于伊利石结晶度诸指数的评价[J]. 岩石学报,1998,14(3):395- 405.

(编辑 叶德燎)

(上接第 141 页)

[3] Montgomery S, Jarvie D, Bowker K, et al. Mississippian Barnett Shale, Fort Worth basin, north- central Texas: Gas- shale play with multi- trillion cubic foot potential[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(2): 155.

[4] Pollastro R, Jarvie D, Hill R, et al. Geologic framework of the Mississippian Barnett Shale, Barnett- Paleozoic total petroleum system, Bend arch- Fort Worth Basin, Texas[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 405.

[5] 张金川,金之钧,袁明生. 页岩气成藏机理和分布[J]. 天然气工业,2004,24(7):15- 18.

[6] 张雪芬,陆现彩,张林晔,等. 页岩气的赋存形式研究及其石油地质意义[J]. 地球科学进展,2010,25(6):597- 604.

[7] 聂海宽,唐玄,边瑞康. 页岩气成藏控制因素及中国南方页岩气发育有利区预测[J]. 石油学报,2009,30(4):484- 491.

[8] 李新景,吕宗刚,董大忠,等. 北美页岩气资源形成的地质条件[J]. 天然气工业,2009,29(5):27- 32.

[9] 陈更生,董大忠,王世谦,等. 页岩气藏形成机理与富集规律初探[J]. 天然气工业,2009,29(5):17- 21.

[10] 李登华. 页岩气藏形成条件分析[J]. 天然气工业,2009,29(5):22- 26.

[11] 王祥,刘玉华,张敏,等. 页岩气形成条件及成藏影响因素研究[J]. 天然气地球科学,2010,21(2):350- 356.

[12] Xia Wenwu, Burnaman M D, Shelton J. Geochemistry and Geologic Analysis in Shale Gas Play[J]. 中国石油勘探,2009(3):34- 41.

[13] Burnaman M D, Xia Wenwu, Shelton J. Shale Gas Play Screening and Evaluation Criteria[J]. 中国石油勘探,2009(3):51- 64.

(编辑 徐文明)