

文章编号: 0253-9985(2011)01-0064-11

南华北地区上古生界热演化史恢复

赵俊峰^{1,2}, 刘池洋^{1,2}, 刘永涛³, 何争光³, 毛伟^{1,2}, 朱斌^{1,2}

(1 西北大学 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069 2 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069

3 中国石油 东方地球物理公司研究院, 河北 涿州 072751)

摘要: 南华北地区是我国具有油气勘探潜力的地区之一, 上古生界煤系地层是该地区主要的油气勘探层系之一。在较全面收集和补充实测有机质镜质体反射率数据的基础上, 结合最大热解峰温 (T_{max})、孢粉色变指数等古温标数据, 认为研究区上古生界热演化呈不均一性, 总体呈北高南低、西高东低的分布格局。结合地层剥蚀厚度恢复、古构造演化分析、裂变径迹和岩浆岩测年等, 认为研究区上古生界经历了复杂的热演化与生烃史, 总体上可划分为早期生烃型、早-晚期生烃型和持续生烃型 3 种生烃热演化类型。上古生界有机质早期主要以深成变质作用为主; 岩浆热变质作用和动力变质作用是局部热演化异常增高的主要原因; 中生代中晚期的区域构造热事件是太康-济源古生界区域性高热演化形成的主控因素。从热演化研究的角度考虑, 寻找具备二次生烃和成藏、保存条件的上古生界, 是南华北具现实意义的勘探方向, 主要分布在中-新生界凹陷的较深部位, 如倪丘集凹陷中部、谭庄-沈丘凹陷中部等。

关键词: 热演化史; 生烃; 煤系地层; 上古生界; 倪丘集凹陷; 谭庄-沈丘凹陷; 南华北地区

中图分类号: TE121.3 **文献标识码:** A

Reconstruction of thermal evolutionary history of the Upper Paleozoic in the southern North China

Zhao Junfeng^{1,2}, Liu Chiyang^{1,2}, Liu Yongtao³, He Zhengguang³, Mao Wei^{1,2} and Zhu Bin^{1,2}

(1 State Key Laboratory of Continental Dynamics Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2 School of Geosciences, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

3 Institute of CNPC BGP INC., Zhuozhou Hebei 072751, China)

Abstract The southern North China is considered one of the areas with great hydrocarbon potentials. The Upper Paleozoic coal-bearing strata are major exploration targets in the area. An analysis of more than 600 sets of vitrinite reflectance (R_o) data and other geothermometer data such as T_{max} and spore color index indicates that the thermal evolution of the Upper Paleozoic is uneven, showing a general trend of higher in the north and west but lower in the south and east. By combining a reconstruction of the eroded strata with an analysis of the paleo-structure evolution, fission track dating and magmatic rocks dating, we concluded that the Upper Paleozoic strata experienced complex thermal evolution history and hydrocarbon generation history, and identified three hydrocarbon generation types including the early, the early-late and the continuous types. The organic matter in the Upper Paleozoic strata mainly experienced hypozonal metamorphism in early stage. Magmatic thermal metamorphism and dynamic metamorphism were the major causes of local abnormal high thermal evolution. The regional tectonic-thermal events in the Mid-Late Mesozoic were the crucial factors controlling the regional high thermal evolution of the Paleozoic in Taikang-Jiyuan area. The Upper Paleozoic with favorable conditions for secondary hydrocarbon generation, accumulation and preservation are the realistic exploration targets. They mainly occur

收稿日期: 2011-01-15

第一作者简介: 赵俊峰 (1975-), 男, 讲师, 含油气盆地分析与石油地质。

基金项目: 中国石化股份有限公司海相油气勘探前瞻性研究项目 (GBFCT-07-YJ-0012); 国家自然科学基金项目 (90814005 41002071); 西北大学大陆动力学国家重点实验室科技部专项经费项目 (BJ091354)。

in deep of Mesozo-Cenozoic depression, such as the middle part of the N i q i j i sag and the middle part of the Tan Zhuang-Shen q i sags

Key words thermal evolutionary history, hydrocarbon generation, coal-bearing strata, Upper Paleozoic, N i q i j i Sag, Tan Zhuang-Shen q i Sag, southern North China

南华北地区是我国油气勘探历史较长,但仍未取得工业性突破的地区之一。上古生界煤系地层是华北已证实分布广泛、天然气资源最为丰富的层系。南华北周参 13 井、南 7 井、周 16 井及襄 5 井等多口井均在该层系见到不同级别的油气显示或获得源自其中的原油(如南 12 井),表明该地区上古生界尚具有一定的勘探潜力。南华北地区处于活动性较强的华北克拉通东南部,地质构造复杂、中-新生代后期改造强烈,上古生界烃源岩经历了复杂的成烃、成藏与改造过程。客观准确地评价该套地层烃源岩的热演化程度及其作用过程,是该地区油气资源评价和勘探目标选择面临的重要问题^[1-4]。

自 20 世纪 80 年代以来,石油、煤炭行业等从油气勘探或煤种预测等角度,对南华北地区或重点凹陷上古生界热演化史开展过不同程度的研究,对热演化史与控制因素、二次生烃潜力等提出

多种认识^[5-12]。文章在大量镜质体反射率(R_o)和其它古温标、热年代学数据分析并吸收前人成果的基础上,结合中-新生代后期改造与埋藏史恢复,对该地区上古生界热演化史进行了较系统的恢复,在此基础上探讨了热体制控制因素与有利勘探方向。

1 现今热演化程度

共获得南华北地区石炭-二叠系的代表性 R_o 数据 366 个(含实测 46 个),其中钻井样品共 19 口井 144 个数据,涵盖了河淮盆地(包括开封坳陷、周口坳陷和太康隆起 3 个一级构造单元)钻至上古生界的绝大多数井(图 1);露头样品数据 222 个,分布在河淮盆地周邻的徐淮、豫西、豫北地区和盆地内的济源、平顶山、禹县等诸煤田及露头区。

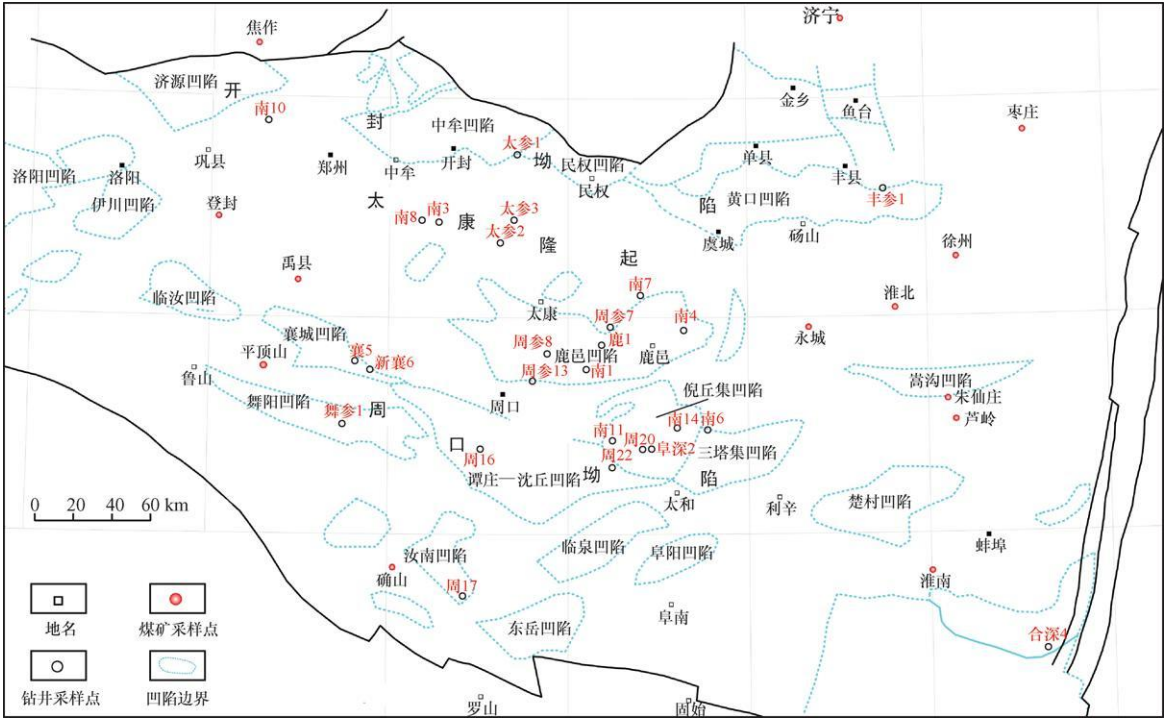


图 1 南华北上古生界 R_o 数据点分布

Fig 1 Map showing the distribution of R_o data gathered from the Upper Paleozoic in the southern North China

1.1 河淮盆地

开封拗陷黄口凹陷丰参 1 井的 18 个石炭-二叠系 R_o 值, 来自江苏油田、西北大学的研究成果和本次补测的三组数据所反映的趋势总体吻合, 其中 17 个 R_o 值均小于 1.2%, 平均为 0.92%, 反映了较低的热演化状态。仅 1 个值 (2.35%) 数值明显偏大, 分析认为此测值不具代表性或测试可能有误。

太康隆起 3 口井 20 个 R_o 数据在 1 000~3 000 m 取样段内在 1.31%~3.90% 之间 (图 2a)。其中太参 3 井、南 3 井 R_o 值随深度有线性增加的趋势, 但其斜率 (ΔR_o) 大于 1.5% / km, 超过正常埋深增温作用引起的 R_o 增加幅度 (研究区中-新生界 ΔR_o 一般为 (0.2%~0.8%) / km)。另收集到新太参 1 井 (山西组, $R_o > 5.0\%$)、太参 2 (下二叠统, 1.86%) 2 个深度不详的上古生界 R_o 数据。太参 3 井 1 700 m~1 800 m 的最大热解峰温 (T_{max}) 值达到 515~537℃; 1 200~1 800 m 深度段奇偶优势指数 (OEP) 值为 1.10~1.30 南 3 井下石盒子组 OEP 值为 1.02~1.19。多种温标参数均反映该地区较高的热演化程度, 该地区仅太参 1 井见到燕山期岩浆侵入现象。

周口拗陷鹿邑凹陷 6 口井 1 500~3 900 m 深度段 42 个 R_o 数据在 0.72%~2.61%, 平均 1.70% (图 2b)。另获得南 4 井 1 个测值为 3.42% (深度不详)。本次实测的南 7 井 5 个 R_o 值, 周参 7 井 1 个 R_o 值与以往所测同深度段 R_o 数值一致, 孢粉颜色指数为褐黑色。该凹陷 R_o 值分布呈南低北高之势, 与上古生界现今埋深南深北浅的格局相反, 且整个凹陷的 R_o 数据与埋深不在一个趋势线上, 表明新生代以来地热场对上古生界热演化不具控制性。此外, 单井 ΔR_o 也比较高, 在 (1.7%~2.0%) / km。该凹陷总体热演化特征与太康隆起具相似性和过渡性。

周口拗陷中南部凹陷除少数测值 (周 17 井 4 值, 南 14 井 1 值及南 6 井新测 1 值) 在 1.66~2.0% 之间外, 其余 R_o 值介于 0.65%~1.4% 之间。单井 R_o 值与取样深度相关性不强, 或表现为随深度轻微变化 (如南 6 井, 南 11 井), 或在相近深度段内变化剧烈 (如襄 5 井, 南 14 井), 也有的井由于取样深度段太短, 难以体现相关性。南 11 井、南 14 井上古生界 T_{max} 值分别为 435~448℃, 440~466℃, 与同深度 R_o 反映的变质程度一致。总体而言, 周口拗陷中部各凹陷热演化程度较低, 在液态窗范围; 而位于拗陷南端的汝南、东岳凹陷热演化程度可达高成熟晚期阶段。

1.2 周邻煤田及露头区

河淮盆地东邻自南到北淮南、淮北、徐州、枣庄和兖州矿区石炭-二叠系的 R_o 值主要变化在 0.35%~1.24%, 与周口中南部凹陷内井下石炭-二叠系的 R_o 值基本一致, 二者可相互补充、彼此印证。淮北矿区刘桥和朔里煤矿普遍较高, R_o 值

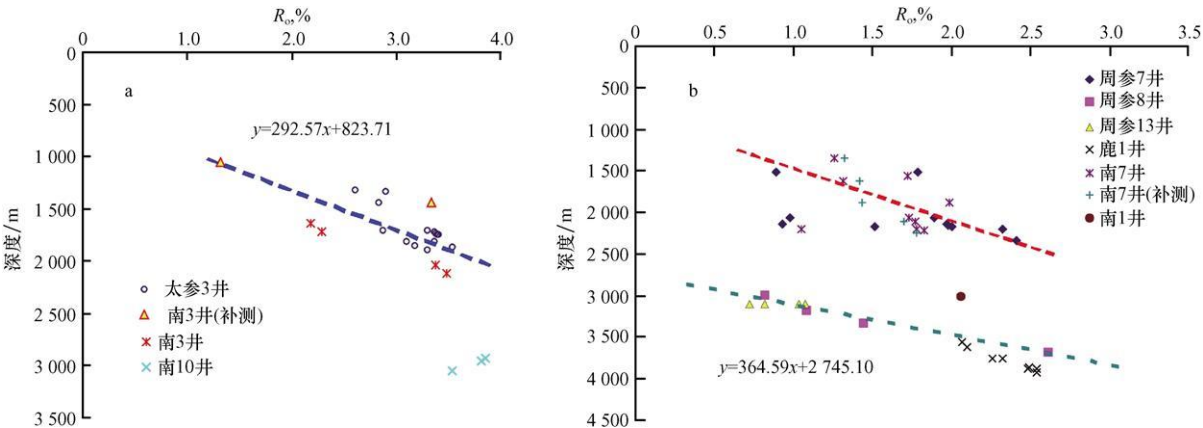


图 2 南华北上古生界镜质体反射率 (R_o) - 深度关系

Fig. 2 R_o vs depth for the Upper Paleozoic of the southern North China

a 太康隆起上古生界 R_o - 深度关系, 20 个数据; b 周口拗陷鹿邑凹陷上古生界 R_o - 深度关系, 42 个数据

在 1.55% ~ 2.27% 之间, 已证实为岩浆侵入所致。淮北矿区之西的永城矿区石炭-二叠系煤岩 R_o 值均大于 2.0%, 多处已为天然焦和无烟煤, 表明经历了高的热演化过程, 亦主要是岩浆活动所致。在煤田内, 闪长岩类和基性辉绿岩类以较大岩株、岩墙或岩脉侵入到煤系及煤层顶底板。与岩浆侵入体接触部位的煤全变成天然焦, 其外侧则为无烟煤^[10-13]。

盆地北部主要是济源、荥巩及焦作等煤田大都经历了异常高、但又不均匀的差异热演化过程。济源地区克井矿区, 山西组下部煤层 R_o 值高达 6.0% ~ 7.0%, 已为超级无烟煤; 向西不到 20 km 的下冶矿区, R_o 减小为 1.89% ~ 2.5%, 达贫、瘦及无烟煤阶段。偃龙煤田 10 个地点的 R_o 都在 5.0% 以上, 到诸葛矿 R_o 又降到 2.91%。由东向西逐渐变低的煤变质趋势十分明显。荥巩煤田 R_o 在 4.2% ~ 5.7% 之间^[14]。焦作煤田各矿 R_o 值在 3.27% ~ 4.90% 之间。盆地北部诸煤田虽热演化程度很高, 但未见岩浆侵入煤系的直接证据。

盆地西部平顶山矿区及向西北延伸的宜阳李沟矿, 14 个 R_o 值变化在 0.38% ~ 1.04% 之间, 热演化程度低。西北部的郑州米村矿、登封 8903 矿和禹县矿

的上石炭统热演化程度较高, 7 个 R_o 值在 1.25% ~ 2.64%^[17]。这 3 个矿区位于太康隆起的西延部位, 其较高热演化特征与太康隆起具相似性。

盆地南部汝南凹陷之南的确山吴桂桥井田, 山西组、下石盒子组含煤 30 余层, 煤类有肥煤、焦煤、瘦煤、贫煤、无烟煤、天然焦等。勘探与研究表明, 该区煤变质作用主要受燕山、喜马拉雅期岩浆作用控制^[15]。

1.3 总体特征

总体而言, 南华北地区上古生界热演化在空间上极不均一, 不同地区的热演化程度差别很大, R_o 变化范围在 0.38% ~ 7.0% 之间, 平面分布总体呈南低北高的格局^[16]。开封坳陷东部 (丰参 1 井) 样品 R_o 值相对较低, 为中成熟阶段; 济源、焦作地区、太康隆起及西延露头区普遍高, 达高成熟-过成熟阶段; 周口坳陷近太康隆起的鹿邑凹陷较高, 亦达到高成熟-过成熟阶段; 中部凹陷带相对较低, 主体处于低-中成熟阶段, 南部凹陷和中部深凹可达高成熟-过成熟阶段。为详细刻画上古生界 R_o 平面分布特征, 依据实测数据和深度趋势外推方法编制了山西组 R_o 等值线图 (图 3)。由图

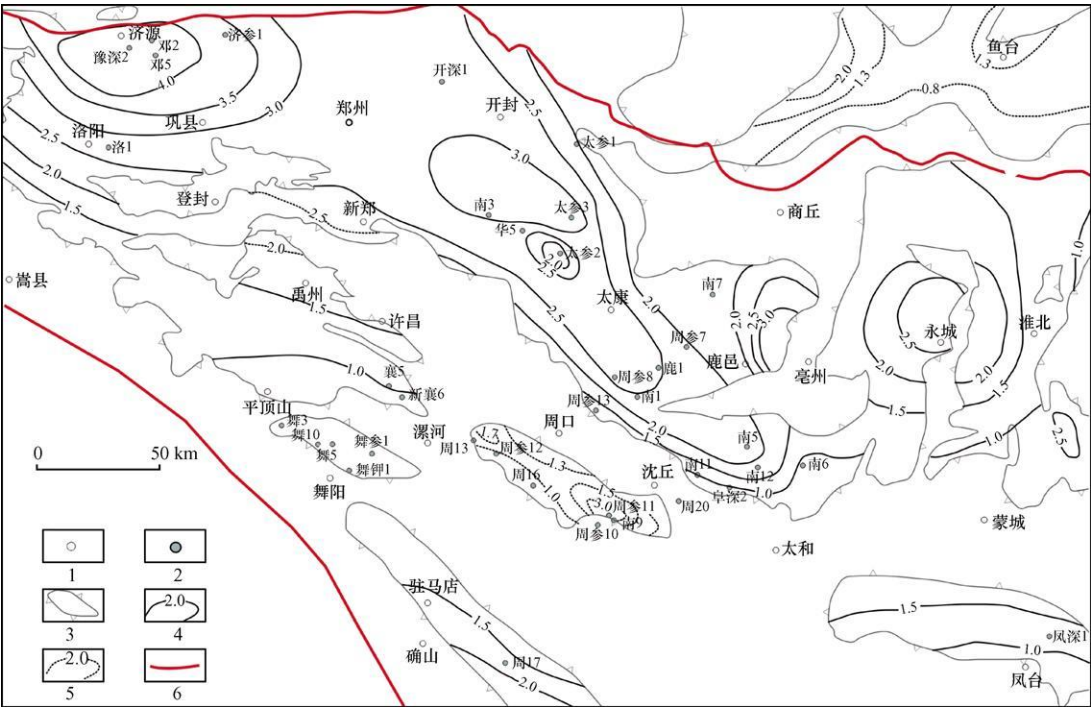


图 3 南华北地区上古生界山西组 R_o 等值线^[16]

Fig. 3 Contour map of R_o of the Shanxi Fm. in the Upper Paleozoic of the southern North China

1. 地名; 2. 井位; 3. 上古生界残存边界; 4. R_o 等值线 (%); 5. 推测 R_o 等值线 (%); 6. 边界断裂

可知, 上古生界较高热演化的地区, 在空间上分布主要表现为点、带两种形式。呈点状分布的主要是受岩浆侵入接触变质影响的地区, 如永城、淮北、确山等。济源- 郑州- 太康- 鹿邑凹陷北部则构成 NWW 向分布的带状高热演化区, 其 R_0 值在 2. 5% 以上。上古生界热演化与其顶面地温分布^[17]不一致, 反映热演化总体不受现今地温场控制。此外, 不同于本区新生界、中生界 R_0 - 深度之间的简单线性关系, 上古生界 R_0 与埋深之间的关系复杂, 线性关系不显著或变化幅度大, 反映其有别于简单深埋增温作用的特点。

2 最大埋深与剥蚀厚度恢复

确定上古生界最大埋藏深度、恢复主要界面的剥蚀厚度是客观评价其热演化史的基础。通过对现今构造格局、前第三系及前侏罗系地质图编制和露头、地震剖面研究等认为, 研究区经历了印支、燕山和喜马拉雅 3 期规模大、但影响程度和表现形式不一的构造运动。其中, 新近系 / 古近系、古近系 / 前古近系为较普遍存在的剥蚀界面。

表观剥蚀厚度法是基于泥岩孔隙度演化的不可逆性来反映地层曾达到的最强压实或最大埋藏深度^[18]。基本做法是, 利用同一套地层大量资料点的声波时差值 (反映地层孔隙度) - 深度数据关系, 回归出该套地层的正常压实趋势, 凡偏离该趋势线的数据点表示其达到最大埋深后又发生了抬升剥蚀, 偏移距离即为表观剥蚀厚度; 某资料点声波时差值在正常压实趋势线上的投影深度代表其最大埋藏深度 (图 4)。

研究区上石盒子组以三角洲平原相为主, 泥岩层发育且分布较稳定, 适于计算最大埋深和表观剥蚀厚度。上石盒子组的正常压实趋势由参考井新襄 6 井、周参 8 井确定, 即认为这两口井现今的埋深是最大埋深或现今达到曾经经历的最大埋深, 其余井的最大埋深都发生在过去, 之后经历了抬升剥蚀。计算可知, 鹿 1 井、襄 5 井、南 1 井、南 10 井、周参 13 井表观剥蚀厚度相对较小, 为 48~ 705 m。南 3 井、南 6 井、南 7 井、南 8 井、周参 7 井、周 16 井、太参 2 井表观剥蚀厚度相对较大, 达 1 109~ 2 262 m。总体而言, 研究区除南 1 井上石盒子组最大埋深值最高, 为 3 754 m, 其余钻井的

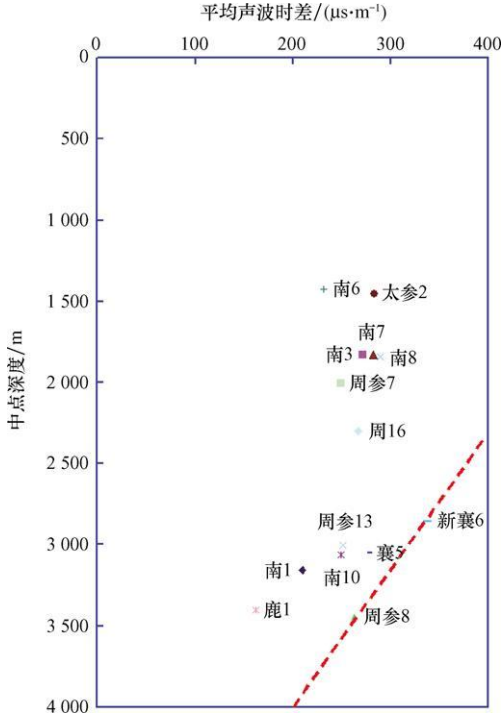


图 4 南华北上石盒子组底部声波时差- 深度关系
Fig 4 Interval transit time vs depth for the Shangshixiezi Fm. of the Upper Paleozoic in the southern North China

上石盒子组最大埋深在 2 850~ 3 250 m 左右, 周口坳陷中南部最大埋深一般大于 3 000 m, 而太康隆起在 2 800~ 3 000 m 之间, 表明埋藏增温作用对热演化的贡献在区域上并无显著差别。

采用表观剥蚀厚度法、声波时差趋势法、镜质体反射率法及地层对比法等多种方法相互约束, 并结合中 新生代原型盆地演化与改造特征等进行的剥蚀厚度估算表明, 各井点新近系 / 古近系之间的剥蚀量差别大, 在 0~ 2 700 m 之间。受印支、燕山期差异抬升改造作用, 研究区二叠- 三叠系剥蚀较为普遍。计算表明, 太康隆起及周口坳陷多数地区二叠- 三叠系剥蚀厚度为 1 800~ 2 500 m, 仅鹿邑凹陷周参 8 井、南 1 井剥蚀厚度较小, 为 900 m 左右。开封坳陷济源、黄口凹陷二叠- 三叠系剥蚀厚度为 200~ 300 m (图 5)。

3 热演化与生烃史模拟

在剥蚀厚度和埋藏史恢复的基础上, 以现今地温场 (由大地热流、地温梯度表征)、实测 R_0 数

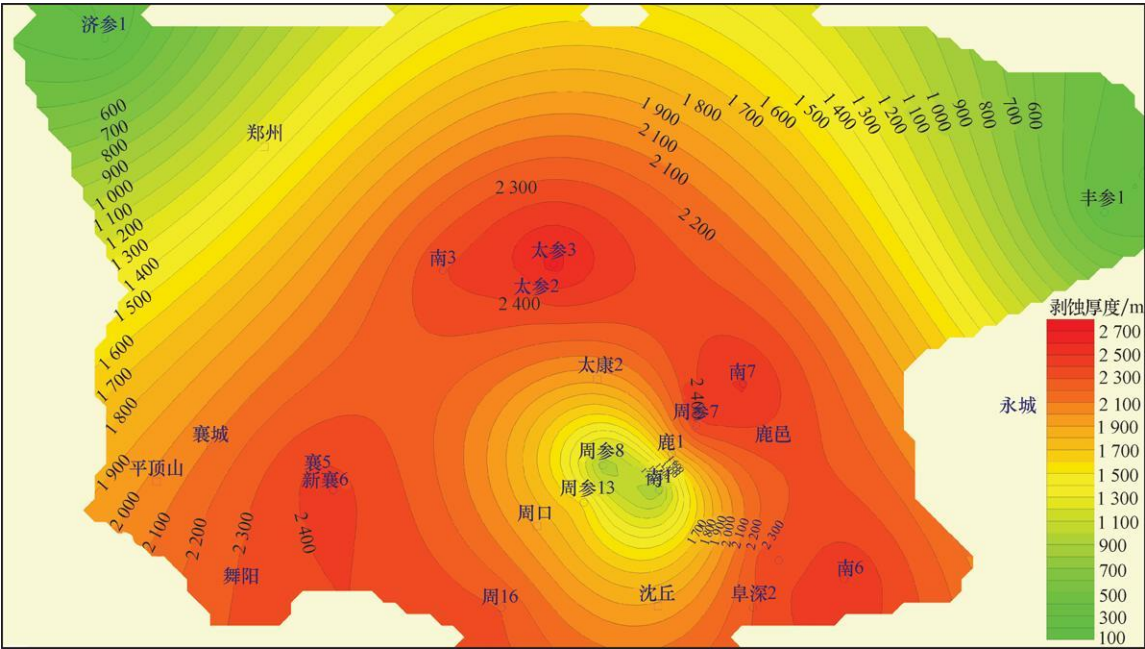


图 5 南华北地区二叠-三叠系剥蚀厚度

Fig 5 Contourmap showing the eroded thickness of the Permian-Triassic in the southern North China

据为约束,采用古温标(以 R_o 为主)反演的热史模拟方法^[19-20],恢复了研究区 18 口钻井上古生界的热演化史。古温标反演模拟选择侧重古热流变化的搜索方式, R_o 演化动力学模型选用国际上广为接受的平行化学反应模型(Easy% R_o)^[21]。模拟表明,研究区上古生界可划分为早期生烃型、早-晚期生烃型和持续生烃型 3 种生烃热演化类型。

早期生烃型以太康隆起(太参 2 井、太参 3 井及南 3 井)(图 6a)及周口中部凹陷带多数井(襄 5 井、周 16 井、南 6 井、南 14 井、阜深 2 井、周参 7 井、周参 8 井、南 1 井、南 7 井及鹿 1 井)(图 6b)为代表。这些地区生烃作用主要发生在三叠纪末的最大埋深至晚白垩世之前,部分地区叠加了燕山期构造热事件的作用,新生代沉积前 R_o 达 0.75% ~ 2.70%。在新生代差异断-隆期内,沉降幅度较小或地温场偏低, R_o 未得到有效补偿,生烃作用不明显。

早-晚期生烃型以周口坳陷新襄 6 井、南 11 井(图 6c)、周参 13 井和黄口凹陷丰参 1 井为代表。这些地区早期生烃作用主要发生在三叠纪末的较大埋深时期至晚白垩世之前。襄城、倪丘集凹陷侏罗-白垩纪处于抬升降温过程,生烃能力较弱,新生代沉积前 R_o 为 0.65% ~ 0.75%,在古近纪断陷幅度大的地区可发生二次生烃,主要在古

近纪沉积末期。黄口凹陷中-新生代以沉降为主,剥蚀作用发生在 T_3 末, K_1 末及 E_3 末,主要的生烃时间为三叠纪和晚侏罗世-早白垩世。

济源凹陷是一个相对长期沉降的地区,虽在 T_3 末, K_1 末及 E_3 末有过抬升剥蚀,但剥蚀量和剥蚀时间有限。对济参 1 井的模拟结果表明,上古生界烃源岩自晚三叠世以来经历了持续增进的热演化过程,具有近似连续的生烃作用。现今上古生界 R_o 达 1.4% ~ 2.5% 左右,为高-过成熟阶段(图 6d)。

4 热演化控制因素

沉积盆地热体制类型可概括为沉降深埋增温(深成变质)、岩浆热变质、区域动力变质、区域构造热事件作用等。分析认为,研究区上古生界热演化是多种热体制类型的复合作用,不同地区主控因素有别。

4.1 沉降深埋增温作用

南华北地区上古生界有机质在印支期和新世代以来主要以沉降深埋增温作用为主。表现在纵向上地层由新到老或随埋深增大,有机质热演化程度逐渐增加。南华北地区是三叠纪鄂尔多斯大

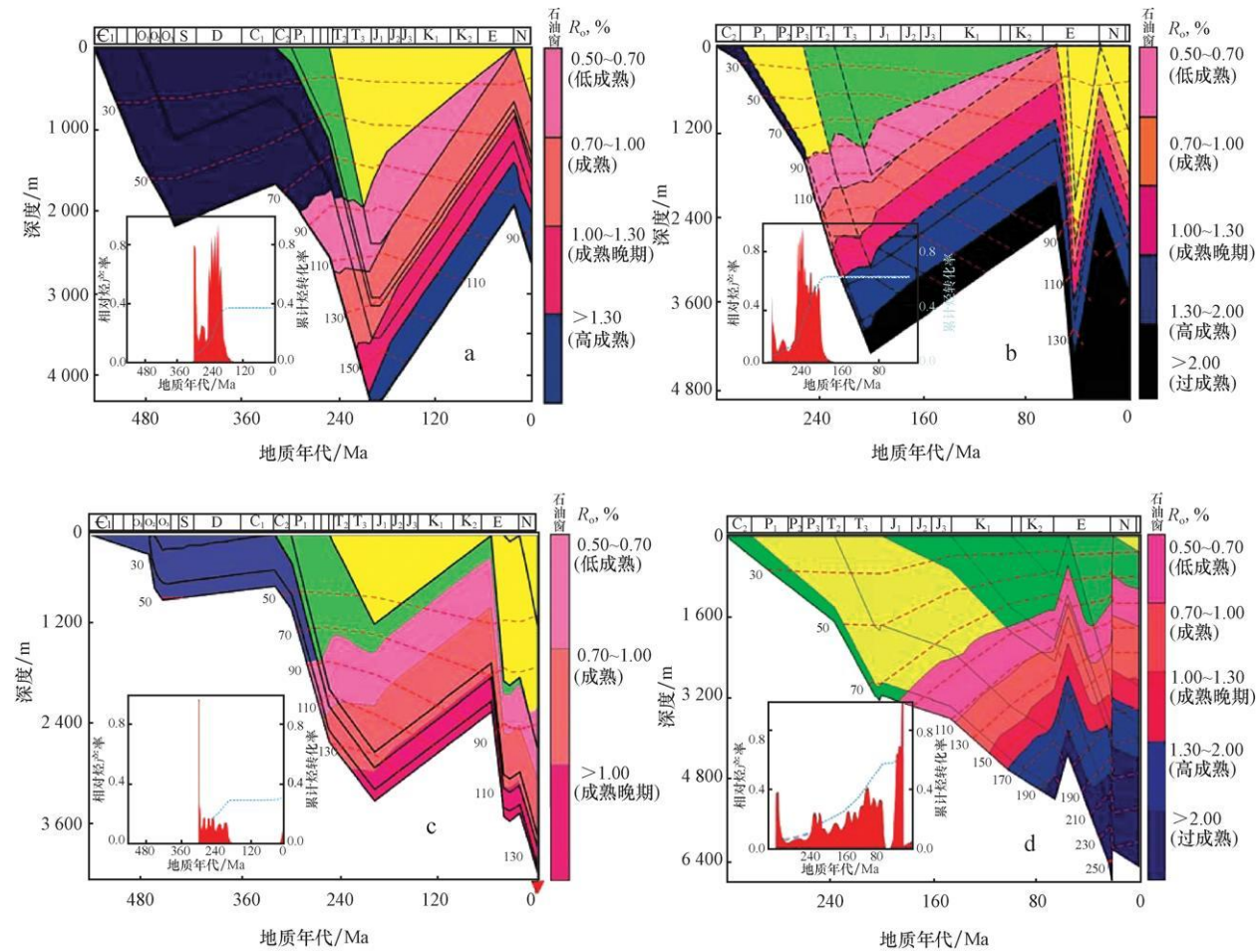


图 6 南华北上古生界单井生烃热演化史模拟

Fig 6 Modeling maps showing the hydrocarbon-generating and thermal evolutionary history of the Upper Paleozoic in the southern North China
a 太参 2 井; b 鹿 1 井; c 南 11 井; d 济参 1 井

型克拉通内盆地沉降-堆积中心的一部分^[22-23], 上石盒子组在三叠纪末埋深可达 3 000 m 左右, 由现今热演化分布格局和热史模拟分析均表明, 印支期的沉降深埋作用对上古生界热演化具不可忽视的作用。新生代以来的差异断陷作用使上古生界埋深达 1 500~ 3 000 m 左右, 埋藏增温可以使某些地区发生二次生烃作用。

4.2 岩浆热变质作用

南华北已发现的岩浆岩主要来自燕山期和喜马拉雅期两个时代。周口坳陷燕山期岩浆活动主要分布在周口中南部凹陷带。沈丘凹陷中部周参 10 井、周参 11 井钻燕山期中酸性火山岩及花岗

岩。汝南凹陷周参 17 井见 1 700 m 安山岩, 同位素年龄 135 Ma。太康隆起太参 2 井、新太参 1 井钻遇燕山期花岗岩及中酸性喷出岩^①。关于喜马拉雅期岩浆活动, 周口坳陷仅谭参 1 井古近系夹有 15 层总厚约 300 m 的玄武岩, 同位素年龄 57.6~ 59.8 Ma 和 32.7 Ma。开封坳陷开参 3 井在沙二及沙三段钻遇 5 层共 91.5 m 玄武岩。

在南华北及周邻煤矿区, 高变质含煤区内或周围已发现多处燕山期岩浆活动侵入煤系的现象。如永城-商丘一带有闪长岩类和基性辉绿岩类以岩株、岩墙或岩脉形式侵入煤层。淮北朔里矿高变质煤与北邻丁里岩体有关。陕涇矿区的支建煤矿、平顶山石龙矿区、确山吴桂桥等也发现有

① 刘池阳, 赵俊峰, 谭成仟, 等. 冀南-南华北地区 C-P 油气资源综合评价. 中国石油华北油田分公司, 2004.

岩浆侵入煤系。本次测定的确山吴桂桥英安岩的 $U-Pb$ 锆石年龄为 123 Ma 属于早白垩世。总体而言, 该地区的岩浆活动较零散, 规模不大, 主要分布于研究区南部及隆起、凸起之上, 在凹陷中分布较少。研究认为, 岩浆及火山活动可引起局部地区地温异常高, 其对有机质热演化的影响范围较为有限, 仅能引起局部热演化异常增高。

4.3 区域动力变质作用

南华北南缘中- 新生代以来构造活动强烈, 前人通过对比研究豫西构造煤和原生结构煤的镜质体反射率, 发现构造煤反射率有所提高, 且出现了双反射率现象, 认为高变质煤的成因与滑覆构造运动有关^[24], 但区域动力变质作用主要发生在南华北南缘的构造活动带, 对周口坳陷及以北地区古生界热演化程度和范围的影响有限。

4.4 区域构造热事件作用

关于济源—郑州—太康一线上古生界高热演化区的成因, 长期以来深受关注但认识不一, 有深成岩浆热变质作用^[14, 25]、热液变质作用^[7]及沉降深埋增温作用^[10]等代表性观点。

本次研究认为, 印支期的深埋作用无疑对该地区热演化增进具促进作用, 但形成现今高热演化状态主要受后期区域构造热事件作用控制, 主要基于以下证据或事实。

1) 剥蚀厚度和埋藏史恢复表明, 该地区上古生界曾经经历的最大埋藏深度、二叠—三叠系剥蚀厚度与周口中部凹陷带差别不大, 甚至还略低于后者, 说明深埋增温作用不致造成如此巨大的热演化差别。前人研究认为, 中生代深成变质作用只能使石炭—二叠系达到气、肥煤阶段^[7], 亦说明埋藏增温对热演化的贡献有限。

2) 由热史模拟可知, 中生代热活动高峰期地表热流可达 80~ 100 mW/m², 使 R_0 达到 0.6% ~ 2.5% 左右, 仅比现今 R_0 小 0.2% ~ 0.3%。如此高的热流值已超出克拉通盆地或前陆盆地的正常值范围^[26, 27], 指示该地区中生代曾经历了不同于正常板内环境的高地温场作用。

3) 该地区井下及煤矿开采表明, 岩浆侵入活动并不普遍, 且已证实的岩浆热变质地区其影响

范围不过几平方公里至数十平方千米, 不足以引起该地区 3 500 km² 范围的整体性热异常。

4) 如前所述, 该地区上古生界 R_0 —深度线性关系复杂, 且其 ΔR_0 远高于中- 新生界, 反映其热演化不是受简单的深埋增温作用控制。此外, 南 7 南 9 等井显示上古生界与古近系 R_0 存在热不整合, 指示新生代之前经历了更高的地温场作用。

通过区域对比发现, 上古生界热异常现象在整个华北克拉通南部普遍存在。本次实测的太行山南段衙道及核桃园下石盒子组煤及泥岩样品 R_0 值分别为 2.82% 和 1.59%。沁水盆地南部的晋城、阳城及翼城石炭—二叠系 R_0 值为 2.0% ~ 5.0%。位于新生代山西地堑系以西的河东煤田和鄂尔多斯盆地, 上古生界 R_0 均表现为南高北低的特点, 河东煤田南部蒲县—乡宁一带 R_0 为 1.6% ~ 2.2%, 鄂尔多斯盆地南部环县—庆阳—富县—韩城一带 R_0 达 1.8% ~ 4.0% 左右。而且这些地区也无大规模的岩浆侵入现象, 指示与济源—太康地区具相似的成因。故可初步推测, 南华北北部与其以西的太行山南段、沁水盆地南部、河东煤田南部及鄂尔多斯盆地南部存在一近北西西—南东东向展布的近弧形热异常带。该热异常带走向与秦岭造山带近于平行, 二者距离 150~ 210 km 左右^①。

晚三叠世以来, 秦岭造山带进入全面的陆内造山阶段, 在浅部表现为巨量的地壳挤压缩短与变形, 而深部必然伴随地幔物质的大规模调整与运移。初步分析认为, 受造山带挤压、俯冲引起的地幔熔融物质呈波状起伏并向北运移, 在推进至南、华北过渡地区的构造薄弱带发生上涌, 诱发岩石圈减薄与区域地温场的异常增高, 是包括南华北北部及整个华北克拉通南部异常热演化的深部原因 (图 7)。

这一由板块汇聚引发的构造热事件表现为, 壳幔深部热源调整及盆地浅层温度场的相应变化、构造隆起与变形、岩浆的侵入与大规模成矿、有机质的强烈变质、矿物蚀变、热液活动等, 一系列在南华北北部地区普遍存在的构造—热活动现象。关于该构造热事件的形成时限可由同位素热年代学加以限定。豫西 30 余个花岗岩体记录的侵入时间为 163 ~ 172 Ma、142 ~ 152 Ma 和 102 ~ 135 Ma 等 3 个时期, 且岩体年龄从西向

① 刘池阳, 赵俊峰, 何争光, 等. 南华北地区古生界构造热体制特征研究. 中国石化东北油气分公司, 2009.

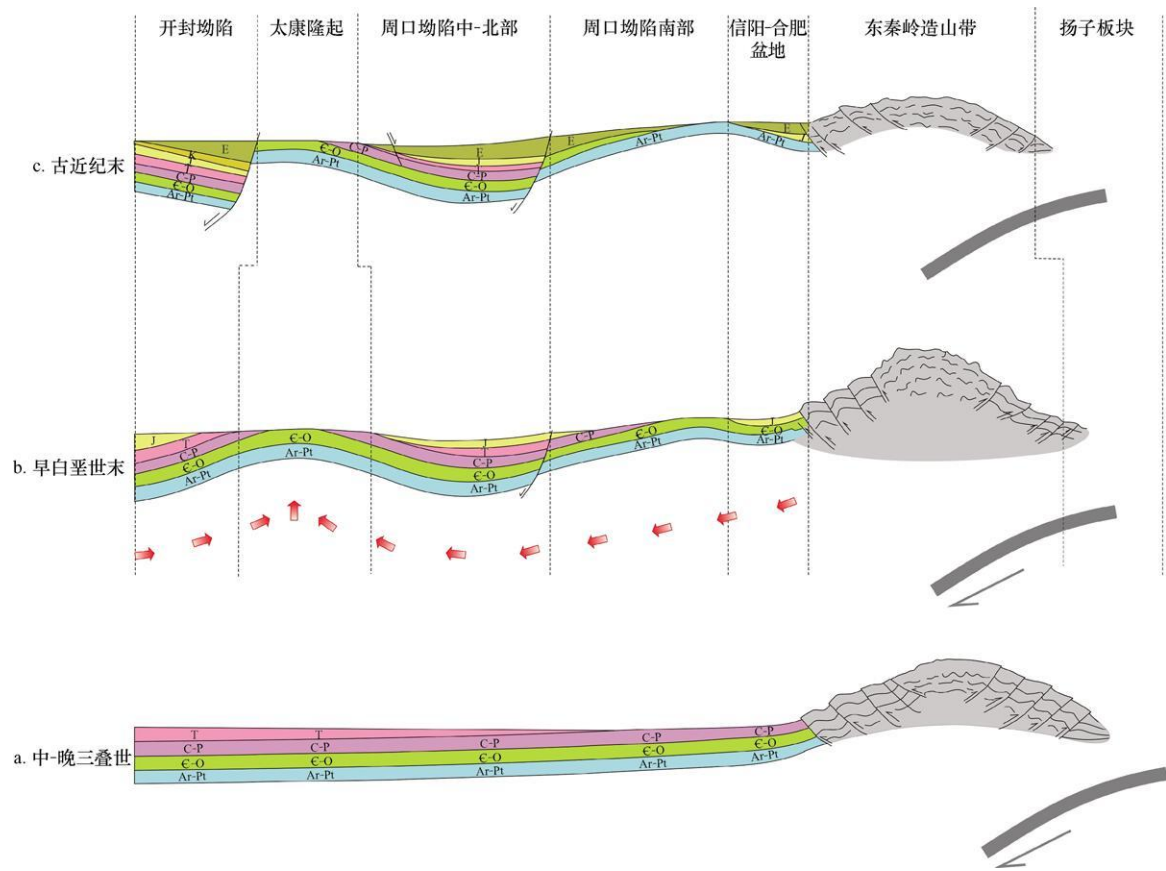


图 7 南华北-秦岭地区中-新生代区域构造动力学环境演化示意图

Fig 7 Map showing the regional tectonic dynamic setting and its evolution in the southern North China-Qinling area

东,从南向北逐步变新^[28],指示秦岭陆内造山活动强烈期为燕山中晚期。本次实测的南华北井下及露头 10 个石炭-二叠系及三叠系锆石裂变径迹样品,均发生部分退火,记录的构造热事件时间为 115~165 Ma 峰值年龄为 120~130 Ma。结合南华北已发现的燕山期岩浆活动(见前文 4.2)、郯庐断裂的左行平移^[29]、大规模成矿作用^[30]及克拉通破坏^[31-32]等华北东部在中生代晚期发生的许多重大地质事件,认为该构造热事件主要发生在 J₃末-K₁早期,该时期强烈的区域构造热活动造就了南华北北部上古生界的高热演化面貌。

5 结论与讨论

1) 南华北地区上古生界热演化在空间上极不均一, R_o 值平面分布总体呈南低北高的格局。济源、太康隆起及西延露头区、鹿邑凹陷普遍高,达高成熟-过成熟阶段;开封拗陷东部、周口中部凹陷带相对较低,主体处于低-中成熟阶段。上古生界较

高热演化的地区,在空间上分布主要表现为点、带两种形式。

2) 研究区上石盒子组最大埋深在 2 850~3 250 m 左右,二叠-三叠系剥蚀厚度为 1 800 m~2 500 m,埋藏增温作用对热演化的贡献在区域上并无显著差别。采用古温标反演的热史模拟表明,研究区上古生界可划分为早期生烃型、早-晚期生烃型和持续生烃型 3 种生烃热演化类型。

3) 研究区上古生界有机质早期主要以深成变质作用为主;岩浆热变质和区域动力变质作用仅是局部地区热演化异常增高的主要原因;中生代中晚期的区域构造热事件是太康-济源上古生界异常高热演化的控制因素;决定了上古生界最高热演化的形成时限;由南北板块汇聚引发的岩石圈减薄与软流圈上涌可能是南华北北部异常高热演化带形成的深部原因。

4) 对于后期差异改造强烈、多重热体制类型作用的南华北地区上古生界而言,从烃源岩热演化等角度评价其油气资源潜力时,应考虑: ①主力

烃源岩系保存完整或比较完整; ②初始演化程度较低, 以便保证烃源岩有一定的剩余生烃潜力和后期容易发生再次生烃; ③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并发生二次生烃; ④较好的保存条件等。对于早期生烃型地区来说, 由于后期抬升改造的破坏, 生成的油气已大量逸散不复存在, 故其油气现实意义不大。寻找有利的 (燕山或喜马拉雅期) 二次生烃地区, 应是南华北上古生界油气勘探的重要方向, 主要分布在中- 新生界凹陷的深凹区, 如倪丘集凹陷中部、谭庄- 沈丘凹陷中部及襄城凹陷南部等。

致谢: 感谢中国石化河南油田分公司蒋永福高级工程师、东北油气分公司徐宏节、胡志方高级工程师、中国科学院地质与地球物理研究所胡圣标研究员等专家在研究工作中给予的支持与帮助。

参 考 文 献

[1] 许化政, 周新科, 高金慧, 等. 华北早- 中三叠世盆地恢复与古生界生烃[J]. 石油与天然气地质, 2005 26(3): 329- 336.
Xu Huazheng Zhou Xinke Gao Jinhui et al Reconstruction of Early-Middle Triassic basin in North China and hydrocarbon generation in Paleozoic[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3): 329- 336.

[2] 全书进, 饶丹, 孔凡军, 等. 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.
Quan Shujin, Rao Dan, Kong Fanjun, et al Potential analysis of the Upper Paleozoic hydrocarbon resources in the Zhoukou depression[J]. Petroleum Geology & Experiment 2004 26(6): 542- 546.

[3] 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——以南华北周口凹陷上古生界为例[J]. 石油学报, 2008, 29(1): 10- 15
Wang Chuangang Hu Zongquan, Xu Huazheng et al Evaluation method for petroleum exploration prospect of hydrocarbon generation paleostrata in superimposed basins— a case study of the Upper Paleozoic strata of Zhoukou depression in the southern North China[J]. Acta Petroli Sinica 2008, 29(1): 10- 15

[4] 张琴, 朱筱敏, 陈祥, 等. 南华北盆地谭庄凹陷下白垩统成岩相分布及优质储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(4): 472- 480.
Zhang Qin Zhu Xiaomin, Chen Xiang et al Distribution of diagenetic facies and prediction of high-quality reservoirs in the Lower Cretaceous of the Tan Zhuang Sag the southern North China Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010 31(4): 472- 480.

[5] 周兴熙, 袁容. 从地质- 热演化角度探讨南华北盆地煤成气资源前景[J]. 天然气工业, 1984 4(4): 20- 24
Zhou Xingxi, Yuan Rong Discussion on the prospect of coal

formed gas resource in the Southern part of North China basin by the Geology-thermal evolution[J]. Natural Gas Industry, 1984 4(4): 20- 24

[6] 杨起, 潘治贵, 翁成敏, 等. 华北晚古生代煤变质演化及煤质预测[J]. 现代地质, 1989, 3(1): 102- 110
Yang Qi Pan Zhigui Weng Chengmin et al The metamorphic evolution of the late Paleozoic coal and its rank prediction in North China[J]. Geoscience 1989, 3(1): 102- 110

[7] 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
Zhong Ningning Cao Daiyong Discussion on the coal metamorphic types and their controlled factors in the Southern part of the North China coal bearing region[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1992, 21(3): 86- 93

[8] 秦勇, 金法礼, 权彪, 等. 焦作- 济源地区晚中生代古地磁场特征及成因[J]. 煤田地质与勘探, 1993 21(3): 16- 22
Qin Yong Jin Falì Quan Biao et al Characteristics and mechanism of the late Mesozoic Paleogeothermal field in Jiaozuo-Jiyuan, Henan, China[J]. Coal Geology and Exploration, 1993 21(3): 16- 22

[9] 赵伟卫, 金强, 王伟锋. 华北盆地济源凹陷古地温梯度的研究——磷灰石裂变径迹的应用[J]. 石油实验地质, 2002 24(6): 555- 560
Zhao Weiwei Jin Qiang Wang Weifeng Estimation of ancient subsurface temperatures with the apatite fission tracks in Jiyuan depression, North China basin[J]. Petroleum Geology & Experiment 2002 24(6): 555- 560.

[10] 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
Hu Junqing Yan Yongxin Wu Guansheng et al Carboniferous-Permian organic mass thermal evolution and genesis in South Huabei area[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 27(5): 554- 556

[11] 闫法堂, 姚合法. 南华北盆地济源凹陷古地温及热演化史恢复[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(5): 28- 34
Yan Fafaog Yao Hefa Study on reconstruction of paleogeothermal and thermal evolution history of Jiyuan Depression South Huabei Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006 13(5): 28- 34.

[12] 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.
Liu Li Ren Zhanli Relations between geothermal history and hydrocarbon generation in Jiyuan-Zhongmou Huangkou depression belt[J]. Oil & Gas Geology, 2007 28(3): 355- 361

[13] 尚冠雄. 华北地台晚古生代煤地质学研究[M]. 太原: 山西科技出版社, 1997 249- 280
Shang Guanxiong Coal geology of Late Paleozoic in North China craton[M]. Taiyuan Shanxi science and Technology Press 1997 249- 280.

[14] 郝永富. 论豫西北无烟煤的变质成因[J]. 中国煤田地质,

- 1989 1(1): 13–18.
- Hao Yongfu Discussion on metamorphic genesis of anthracite in western Henan Province [J]. *China Coal Geology*, 1989, 1(1): 13–18.
- [15] 袁同星. 确山吴桂桥井田岩浆岩对煤层煤质的影响 [J]. 中国煤田地质, 2001, 13(2): 15–17.
- Yuan Tongxing Influences of magmatic activity to the coal beds of Wuguizhao mine field in Queshan county [J]. *China Coal Geology*, 2001, 13(2): 15–17.
- [16] 赵俊峰, 刘池洋, 何争光, 等. 南华北地区主要层系热演化特征及其油气地质意义 [J]. 石油实验地质, 2010, 32(2): 101–107.
- Zhao Junfeng Liu Chiyang He Zhengguang et al Thermal evolution and its hydrocarbon geological implications of the main strata series in the Southern North China Craton [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2010, 32(2): 101–107.
- [17] 何争光, 刘池洋, 赵俊峰, 等. 华北克拉通南部地区现今地温场特征及其地质意义 [J]. 地质论评, 2009, 55(3): 428–434.
- He Zhengguang Liu Chiyang Zhao Junfeng et al A study on geothermal field and its geological significance in southern area of North China Craton [J]. *Geological Review*, 2009, 55(3): 428–434.
- [18] Underdown R, Redfern J, Lister F C Constraining the burial history of the Ghadames Basin North Africa: an integrated analysis using sonic velocities, vitrinite reflectance data and apatite fission track ages [J]. *Basin Research*, 2007, 19: 557–578.
- [19] 胡圣标, 张容燕, 周礼成. 油气盆地地热史恢复方法 [J]. 勘探家, 1998, 3(4): 52–54.
- Hu Shengbiao Yuan Rongyan Zhou Licheng Reconstruction of Geothermal history of hydrocarbon basins [J]. *Petroleum Explorationist*, 1998, 3(4): 52–54.
- [20] 邱楠生. 沉积盆地热历史恢复方法及其在油气勘探中的应用 [J]. 海相油气地质, 2005, 10(2): 45–51.
- Qiu Nansheng Methods of thermal history reconstruction of sedimentary basin and its application in oil and gas exploration [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2005, 10(2): 45–51.
- [21] Burhan A K, Sweeney J J A chemical kinetic model of vitrinite maturation and reflectance [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989, 53: 2649–2657.
- [22] 刘池洋, 赵红格, 桂小军, 等. 鄂尔多斯盆地演化–改造的时空坐标及其成藏(矿)响应 [J]. 地质学报, 2006, 80(5): 617–638.
- Liu Chiyang Zhao Hongge Gui Xiaojun et al Space-time coordinate of the evolution and reformation and mineralization response in Ordos basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(5): 617–638.
- [23] 赵俊峰, 刘池洋, 喻林, 等. 鄂尔多斯盆地中生代沉积和堆积中心迁移及其地质意义 [J]. 地质学报, 2008, 82(4): 540–552.
- Zhao Junfeng Liu Chiyang Yu Lin et al The transfer of depositional centers and accumulation centers of Ordos basin in Mesozoic and its implications *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(4): 540–552.
- [24] 谢洪波, 徐亚富, 康继武. 豫西煤田二₁煤层中构造煤成因的反射率研究 [J]. 河南理工大学学报 (自然科学版), 2008, 27(2): 163–167.
- Xie Hongbo Xu Yafu Kang Jiwu Reflectance on the origin of deformed coal II₁ coal bed in the coal field of west Henan Province [J]. *Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science)*, 2008, 27(2): 163–167.
- [25] 杨起, 潘治贵, 翁成敏, 等. 区域岩浆热变质作用及其对我国煤质的影响 [J]. 现代地质, 1987, 1(1): 123–130.
- Yang Qi Pan Zhigui Weng Chengmin et al Tectonic metamorphism and its effects on Chinese coal properties [J]. *Geoscience*, 1987, 1(1): 123–130.
- [26] Hu S B, He L J, Wang J Y. Heat flow in the continental area of China: A new data set [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2000, 179: 407–419.
- [27] Philip A. Allen, John R. Allen. *Basin Analysis: Principles and Applications* [M]. London: Blackwell Scientific Publication, 1990: 282–308.
- [28] 庞振山. 河南省西部地区中生代花岗岩类地质特征及成因 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2006.
- Pang Zhenshan. Granitoid geochemical characteristics and genesis in the Mesozoic resulting in the western region of Henan Province [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2006.
- [29] 朱光, 胡召齐, 陈印, 等. 华北克拉通东部早白垩世伸展盆地的发育过程及其对克拉通破坏的指示 [J]. 地质通报, 2008, 27(10): 1594–1604.
- Zhu Guang Hu Zhaoqi Chen Yin et al Evolution of Early Cretaceous extensional basins in the eastern North China Craton and its implication for the craton destruction [J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(10): 1594–1604.
- [30] 翟明国, 孟庆任, 刘建明, 等. 华北东部中生代构造体制转折峰期的主要地质效应和形成动力学探讨 [J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 285–297.
- Zhai Mingguo Meng Qingren Liu Jianming et al Geological features of Mesozoic tectonic regime inversion in Eastern North China and implication for geodynamics [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(3): 285–297.
- [31] 林舸, 赵崇斌, 肖焕钦, 等. 华北克拉通构造活化的动力学机制与模型 [J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(2): 133–142.
- Lin Ge Zhao Chongbin Xiao Huanqin et al Dynamic mechanisms and models of tectonic activating in North China Craton [J]. *Geotectonica Et Metallogenia*, 2008, 32(2): 133–142.
- [32] 嵇少丞, 王茜, 许志琴. 华北克拉通破坏与岩石圈减薄 [J]. 地质学报, 2008, 82(2): 174–193.
- Ji Shaoheng Wang Qian Xu Zhiqin Break-up of the North China Craton through lithospheric thinning [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(2): 174–193.