

周口拗陷石炭—二叠系油气资源及其成藏条件

刘志武¹, 周立发², 何明喜³

(1 长安大学 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710054;

2 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069; 3 河南油田 勘探开发研究院, 河南 南阳 473123)

摘要: 通过对周口拗陷石炭—二叠系分布、烃源岩特征、生烃史、生储盖组合类型、储集特征、油气输导体系及充注史、圈闭类型及其形成演化以及典型油气藏剖析等综合研究, 评价了该区石炭—二叠系油气资源及其成藏条件。结果表明: 煤是石炭—二叠系最主要的烃源岩, 分布广, 厚度大, 类型好, 生烃潜力高; 印支期和喜山期是石炭—二叠系最主要的生烃期; 石炭—二叠系油气存在自生自储、下生上储和古潜山3种生储盖组合类型, 其中, 下生上储型是最重要的生储盖组合类型; 石炭—二叠系油气发育有砂岩输导层、不整合面输导层及断裂系统3种输导体系; 石炭—二叠系油气主要有印支和喜山两期油气运聚及充注事件; 区内发育多种复合构造圈闭、下古生界风化壳岩溶地貌圈闭及上古生界地层—岩性圈闭; 喜山期晚期是区内石炭—二叠系最主要油气生成和运聚期, 并且圈闭定型期与油气运聚期配置良好; 南12井油藏是区内石炭—二叠系油气资源的重大发现。总之, 该区石炭—二叠系油气资源潜力较大, 成藏条件有利, 有望获得油气勘探的突破。

关键词: 周口拗陷; 石炭—二叠系; 油气资源; 成藏条件

中图分类号: TE122.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)03-0271-07

Hydrocarbon Resources and Forming Conditions of Hydrocarbon Reservoir of Permo-Carboniferous in Zhoukou Depression

LIU Zhi-wu¹, ZHOU Li-fa², HE Ming-xi³

(1 Key Laboratory for Western Mineral Resources and Geological Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2 Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China; 3 Institute of Petroleum Exploration and Development, Henan Oilfield, Nanyang 473123, Henan, China)

Abstract According to synthetically studies on the Permo-Carboniferous distribution in the Zhoukou depression, oil source rock features, hydrocarbon-generating history, assembling types of the oil-generating strata, reservoir strata and overlying strata, oil transforming systems and filling history, trap types as well as their forming and evolution, and the typical hydrocarbon reservoir, this paper aims to probe into the hydrocarbon resources and forming conditions of reservoir of the Permo-Carboniferous in the Zhoukou depression. The research indicates that the coal is the main generating rock of the Permo-Carboniferous because of its extensive distribution, large thickness, good kerogen types and high hydrocarbon potential. The Indosinian epoch and Yanshan epoch are the most important periods for hydrocarbon formation. The assembling types of the oil-generating strata, reservoir strata and overlying strata include self-generation and self-accumulation ones, super-generation and lower-accumulation ones and buried hill ones, among which the most important is the super-generation and lower-accumulation ones. The transforming systems for the Permo-Carboniferous hydrocarbon include sandstone ones, hard ground ones and rift system ones. The trap types in this area include compound structural ones, residual paleo-karst landform ones of the lower Palaeozoic Era, stratigraphy-lithology ones of the upper Palaeozoic

收稿日期: 2008-01-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(40743018); 中国石油化工集团公司科技项目(P02004; P05003)

作者简介: 刘志武(1973-), 男, 陕西西安人, 讲师, 工学博士, 从事油气地质教学和研究。E-mail: zhiwu73@126.com

Erathem. The late Himalayan epoch is the foremost for the Permo-Carboniferous hydrocarbon generation and accumulation, and the formalization time of trap match well with that of hydrocarbon accumulation. The Nan12-well reservoir is a great finding of the Permo-Carboniferous hydrocarbon resources in this area. In a word, the Permo-Carboniferous in this region have high resources potential and favorable forming conditions of hydrocarbon reservoir, and this region is a favorable to acquire breakthrough in the exploration activity.

Key words: Zhoukou depression; the Permo-Carboniferous; hydrocarbon resources; forming conditions of hydrocarbon reservoir

0 引言

周口拗陷是华北盆地南部的中生代断陷-拗陷区, 位于豫、皖交界处, 其南临秦岭—大别造山带, 北靠太康隆起, 东起淮北、蚌埠隆起, 西止于豫西隆起^[1], 面积约 32 000 km²。盆地现今构造单元为“三凹两凸”, 由北向南依次为北部凹陷带(鹿邑、巨陵凹陷等)、临颖—郾城凸起、中部凹陷带(倪丘集、谭庄、沈丘、襄城、舞阳凹陷等)、平舆—太和凸起和南部凹陷带(临泉、汝南、阜阳凹陷等)^[2](图 1)。

华北盆地部分地区石炭—二叠系天然气勘探已获得突破性进展^[3-4], 如渤海湾盆地东濮凹陷、沁水盆地以及鄂尔多斯盆地的苏里格庙、榆林、乌审旗、神 3 井和榆 17 井等地区^[5-7]。在华北盆地南部, 周口拗陷石炭—二叠系保存最好, 面积最大, 油气显示普遍(如周参 7、8、周 16、南 6、襄 5 井

等), 并在倪丘集凹陷南 12 井古近系玉皇顶组测试获得低产油流, 其油源来自石炭—二叠系煤系地层^[6,8]。以上充分说明该区石炭—二叠系具有油气生成的物质基础, 并且经历过油气的生成、运移与聚集过程, 因此, 有必要深入研究其油气资源及成藏条件, 为该区上古生界油气勘探获得突破奠定坚实基础。

1 石炭—二叠系分布

加里东运动使本区随华北盆地整体上升为陆, 遭受长达 1.4×10^8 年的风化剥蚀, 直至晚石炭世广泛海侵后才又开始接受沉积。晚古生代研究区经历了一个从海到陆的海退过程, 处于气候温暖潮湿、生物繁茂的由滨浅海到沼泽的沉积环境, 形成一套重要含煤建造。印支和燕山运动则使周口拗陷遭受了强烈褶皱断裂和抬升剥蚀, 石炭—二叠系

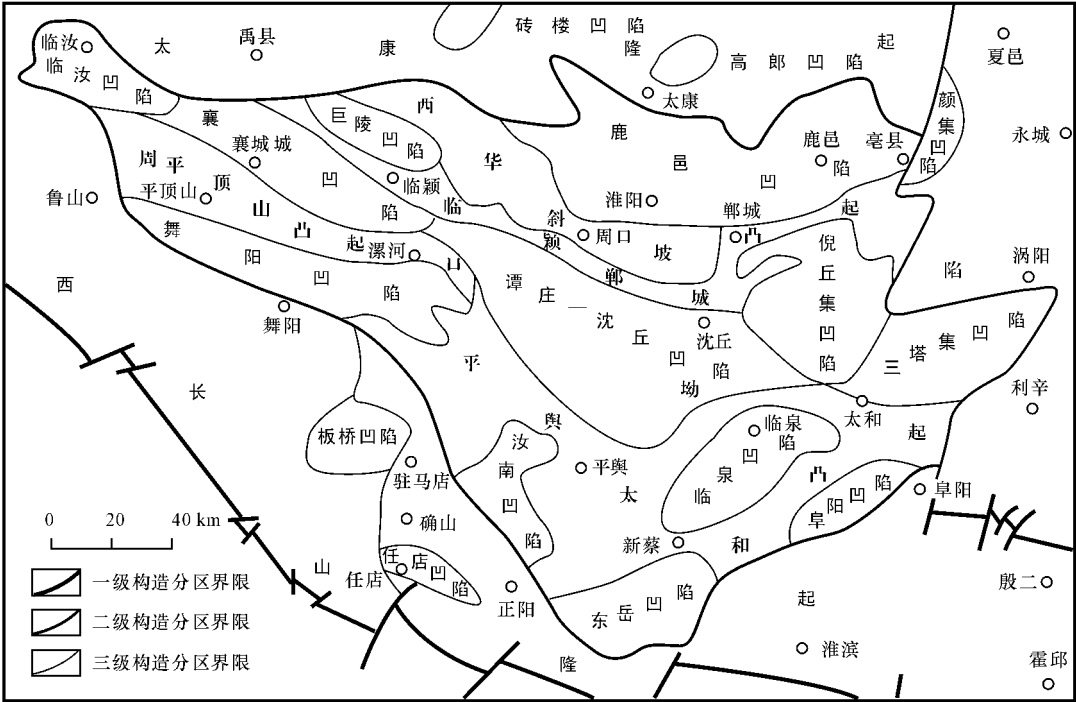


图 1 周口拗陷构造区划

下两个组合:以第 1 至第 3 含煤段(上石炭统太原组、下二叠统山西组和下石盒子组下部)为烃源岩段,其内砂岩、灰岩为储层,下石盒子组第 4 含煤段为盖层,组成下部生储盖组合;以第 4 至第 6 含煤段为烃源岩,其内砂岩为储层,以上石盒子组下部第 7 含煤段和石千峰组上段泥岩为盖层,组成上部生储盖组合。此类组合主要发育于洛伊盆地、鹿邑与倪丘集凹陷、古城凸起及太康隆起。

4.2 下生上储型生储盖组合

是以石炭—二叠系为烃源岩,古近系玉皇顶组为储盖层,油气可沿断裂和不整合面运移至早始新世或更早的圈闭中形成油气藏。该生储盖组合受油气生成、运移及保存条件的控制,尤其是受运移方式、运移期及运移期与圈闭形成期配置关系的控制,远比自生自储型更复杂。以倪丘集凹陷为代表,其具有二次生烃条件,但由于煤系成岩作用强烈,储层条件较差,喜山期二次生烃所形成的油气沿断裂或不整合面运移、聚集在玉皇顶组形成油气藏(如南 12 井油藏)。本类型广泛分布于沈丘、倪丘集、鹿邑及巨陵等凹陷中。

4.3 古潜山型生储盖组合

以上古生界为烃源岩,下古生界风化壳、缝洞层为储层,可以形成古潜山型油气藏。襄 5 井在下古生界见到了油气显示;周 16 井在钻井过程中于寒武系先后漏失泥浆 73.69 m^3 , 平均漏速 $1.37 \text{ m}^3/\text{h}$, 录井和电测也均显示该层段裂缝较发育,表明区内下古生界碳酸盐岩风化壳具有良好的缝洞发育条件和储集能力,若以古近系和上古生界的泥岩为盖层,可形成古潜山型油气藏。此种生、储、盖组合主要发育于洛伊盆地,襄城、鹿邑、倪丘集、颜集等凹陷以及古城凸起、太康隆起等隆起地区。

5 油气输导体系及充注史

5.1 油气输导体系

输导体系是油气从源岩运移到油气圈闭整个过程的核心,其输导能力决定了油气的运移距离。区内石炭—二叠系砂岩输导层发育,虽成岩作用强烈,但对天然气仍然具有较强的输导能力;区内发育多个不整合面,其中,古生界与中生界、中生界与新生界和古近系与新近系之间 3 个不整合面的输导作用最为重要;区内发育北西西—北西、北北东—东西和近南北向 3 组断裂系统,石炭—二叠系生成的油气依靠边界大断裂可运移到古近系,如周参

10 井和南 12 井,这类断层不仅是油气向上运移的主要途径和散失的主要通道,而且控制着生烃凹陷的基本构造格局,从而对油气运移的指向和构造圈闭的形成演化都有直接影响。

5.2 油气充注史

根据对襄 5 和周参 7 井 11 块石炭—二叠系砂岩及灰岩样品的流体包裹体镜下、测温及荧光研究,该流体包裹体可分为 3 期:第 1 期不多见,为原生盐水包裹体,个体较小,均一温度 $87^\circ\text{C}\sim 94^\circ\text{C}$,代表海西晚期充注产物;第 2 期油气包裹体发育程度高,主要为灰、黑褐色的液态烃次生包裹体,分布于未切穿次生加大边的愈合裂隙中,均一温度 $106^\circ\text{C}\sim 117^\circ\text{C}$,为印支末期油气充注产物;第 3 期油气包裹体发育程度中等,除次生包裹体外,还有赋存于石英碎屑次生加大边中的原生包裹体。该油气包裹体中液烃包裹体占 60% 左右,气液烃包裹体占 30% 左右,气烃包裹体占 10% 左右。其中,液烃包裹体多呈灰黄色、灰褐色结丝网状或斑点状沥青附于包裹体壁上,显弱黄色、褐黄色荧光或不显荧光,气烃呈灰黑、深灰色。该期流体包裹体均一温度 $127^\circ\text{C}\sim 138^\circ\text{C}$,代表喜山期油气充注产物。因此,区内石炭—二叠系主要存在着印支、喜山两期油气运聚和充注事件。

6 圈闭类型及其形成演化

在改造型盆地漫长的油气生成、运移、聚集和保存过程中,最终能否形成和在哪里形成工业油气藏需要各种成藏要素的有效配置^[11-13]。

6.1 圈闭类型

由于多期构造活动改造,尤其是燕山和喜山运动形成众多褶皱和断裂构造,周口地区发育各种构造圈闭:区内下古生界发育巨厚碳酸盐岩,经历多次升降运动,遭受多次风化、剥蚀和淋滤,奥陶系顶部形成古风化壳,为岩溶地貌圈闭的形成创造了良好条件;区内上古生界为海陆交互相含煤岩系地层,岩性、岩相变化大,为地层-岩性圈闭的形成打下了基础。据统计,周口拗陷共发育各类圈闭 100 个,其中断块、断鼻 70 个,背斜 24 个,地层-岩性 4 个,潜山 2 个。因此,背斜和断鼻是区内主要圈闭类型(图 4.5)。在平面上,洛伊盆地、谭庄—沈丘凹陷、鹿邑、倪丘集凹陷构造圈闭相对较多,圈闭面积相对较大,而舞阳、襄城及板桥凹陷等有利生油区内的构造圈闭则相对较不发育(图 6)。

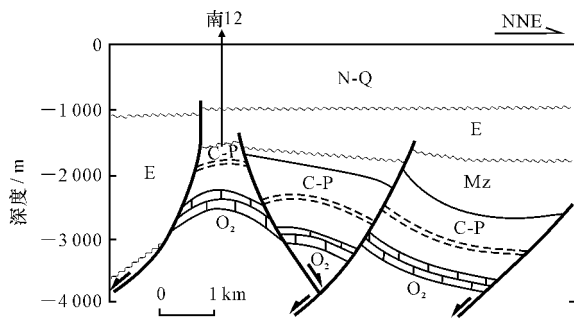


图4 倪丘集凹陷大王庄背斜构造

Fig. 4 Dawangzhuang Anticline Structural Section in the Niquiji Depression

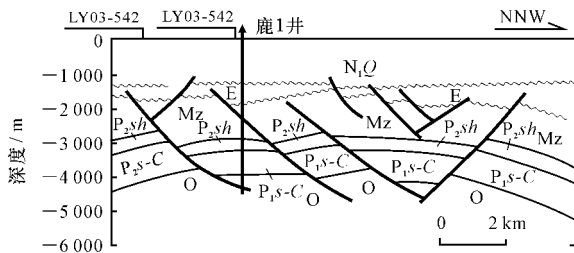


图5 鹿邑凹陷任集断鼻构造

Fig. 5 Renji Structural Nose in the Luyi Depression

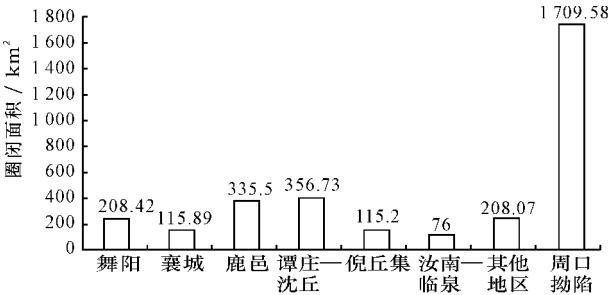


图6 周口凹陷圈闭面积统计

Fig. 6 Statistical Graph of Trap Area in the Zhoukou Depression

6.2 圈闭定型期与油气运聚期的有效配置

圈闭定型期与油气运聚期的有效配置是成藏的关键因素。只有当圈闭的形成和定型期不晚于油气的大规模运聚期时,才有可能捕获到油气从而聚集成藏^[13]。据对周口凹陷石炭—二叠系的沉积史、有机质热演化史及现今油气分布特征等分析^[2, 14-15],该区主要存在印支、燕山和喜山期等3次规模不等的油气生成和运聚期。其中,印支期在后期改造较弱,地层保存较为完整,尤其是区域盖层三叠系保存较好的地区,有望找到石炭—二叠系原生油气藏;燕山期区内仅在谭庄—沈丘凹陷因沉积巨厚的下白垩统而导致石炭—二叠系

深埋可达6 000 m,从而开始二次成烃,并在早白垩世末隆升回返,结束生烃;喜山期早期盆地主要表现为拉张断陷,形成一系列伸展构造圈闭。喜山期晚期盆地又整体拗陷下沉,石炭—二叠系煤系开始大面积的第二次生烃,并在早期形成的有利圈闭中运聚成藏,是周口凹陷石炭—二叠系最主要油气生成和运聚期^[16]。可以看出,该区石炭—二叠系油气成藏的圈闭定型期与油气运聚期配置良好。

6.3 古近纪构造格局

古近纪构造格局控制着区内石炭—二叠系烃源岩演化、二次成烃区域和规模、油气运移方向和圈闭定型,因而很大程度上决定着现今石炭—二叠系原生油气的分布^[17]。早期形成的油气藏也会受到改造或破坏,油气进行再运移和聚集,并在有利的圈闭条件下形成次生气藏。

7 典型油气藏剖析

南12井油藏位于倪丘集凹陷北部斜坡大王庄构造顶部,为一南倾断鼻型含油气构造(图7),其构造形态和规模清晰,主油藏位于I号正断层下盘主体部位(图8)。储集层为古近系玉皇顶组砂岩,共钻遇9层油层,总视厚度44 m。油层具有含油级别高(不含气)、单层厚度大、低压高渗、埋藏浅和分布集中等特点。油源对比表明,南12井原油为典型煤成油,油源来自下伏石炭—二叠系煤系地层^[2, 8-9]。

7.1 封盖条件

倪丘集凹陷古近系玉皇顶组下段是储集层发

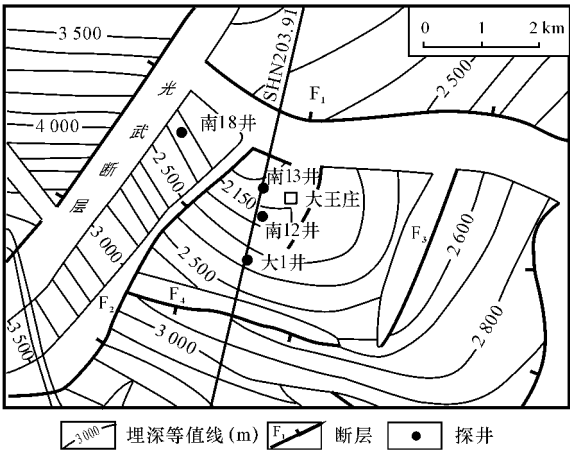


图7 倪丘集凹陷大王庄构造 Tc 反射层构造

Fig. 7 Tc Reflector Map of the Dawangzhuang Structure in the Niquiji Depression

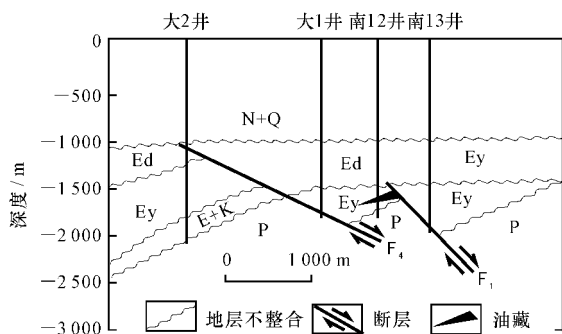


图 8 南 12 井油藏剖面

Fig. 8 Sketch Section of the Nan 12 Well Reservoir

育段, 上段则以泥岩为主夹砂岩, 泥岩单层厚度较大。南 12 井玉皇顶组顶面以下 100 m 厚度内泥岩占 55 m, 最大单层厚度 17.5 m, 为褐棕色软泥岩, 泥岩成岩作用处于蒙脱石第一迅速转化带, 粘土成分中蒙伊混层矿物占 40%~50%, 其中蒙脱石层占 20%~80%, 一般 50%左右, 因而岩石塑性较强, 具有较强的遮挡能力。

7.2 储集条件

古近系砂岩发育, 单层厚度较大, 物性好。据倪丘集凹陷南 5、12、13 井和大 1 井玉皇顶组 23 块砂岩样品的分析结果, 该砂岩主体属于 I 类储层, 平均孔隙度 18.31%~25.15%, 平均渗透率 $(112.56 \sim 1142.50) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为好—很好的储集岩。其中, 大 1 井和南 13 井玉皇顶组砂岩孔喉半径为 7.5~37.5 μm 的孔隙占总孔隙体积的 72.7%~82.7%。南 12 井含油层位为 1600~1700 m, 大 1 井和南 13 井在此深度范围也有不同程度的油气显示。

7.3 圈闭类型

大王庄构造位于近东西向的秋渠集—大王庄构造带上, 是在印支晚期或燕山早期区域性南北挤压应力下所形成, 基底保留有逆断层。其在古近纪前长期遭受剥蚀作用, 古近纪属于断陷的斜坡抬升部位, 沉积超覆减薄, 后期又遭受过剥蚀。因此, 大王庄构造是一个喜山期形成的古近系构造叠置在古构造背景上的多层位的复合构造, 加上次级断层切割而更加复杂。北西西走向的 I 号断层, 为一断面北倾正断层, 断开层位从基底至古近系玉皇顶组、大仓房组。南 12 井油藏构造是被两条断层夹持和遮挡的断鼻构造。

7.4 综合分析

倪丘集凹陷二次生烃供烃中心主要分布在埋深超过 4000 m 的深凹区, 古近系玉皇顶组下段是

其良好储层, 古近系玉皇顶组上段泥岩是其良好的直接盖层, 二次生烃作用产生的油气于喜山期沿断裂或不整合面运移至古近系适时圈闭中聚集成藏。由于大王庄构造埋藏较浅, 缺少良好区域盖层, 而且断裂发育, 可能造成油气不同程度的逸散和氧化降解。

南 12 井工业油流是周口拗陷石炭—二叠系油气资源的重大发现, 在古近系“红层”中试获油流, 也拓宽了该区上古生界的油气勘探思路。然而, 该区除了还在南 13 井和大 1 井见到油迹、油斑显示外, 未能取得进一步突破, 也反映出该地区油气成藏条件的复杂性。

8 结语

- (1) 煤是区内石炭—二叠系最主要的烃源岩, 分布广, 厚度大, 类型好, 生烃潜力高。
- (2) 印支期和喜山期尤其是后者, 是区内石炭—二叠系最主要的生烃期。
- (3) 区内石炭—二叠系油气资源存在自生自储、下生上储和古潜山 3 种生储盖组合类型, 其中, 下生上储型是最重要的生储盖组合类型及勘探对象。
- (4) 区内石炭—二叠系油气发育砂岩输导层、不整合面输导层及断裂系统 3 种输导体系。
- (5) 区内石炭—二叠系油气主要存在着印支和喜山两期油气运聚及充注事件。
- (6) 区内发育多种类型复合构造圈闭、下古生界奥陶系顶部风化壳岩溶地貌圈闭及上古生界地层—岩性圈闭。
- (7) 研究区喜山期晚期整体拗陷, 石炭—二叠系煤系开始大规模二次生烃, 在早期形成的有利圈闭中运聚成藏, 是周口拗陷石炭—二叠系最主要油气生成和运聚期, 并且圈闭定型期与油气运聚期配置良好。

(8) 南 12 井工业油流是周口拗陷石炭—二叠系油气资源的重大发现, 在周口拗陷上古生界油气勘探中具有重要指导意义。

建议对周口拗陷加强多学科、多领域、多单位的联合攻关, 以区域地震大剖面为主线, 结合典型剖面及钻井资料, 整体解剖该区石炭—二叠系的残存分布、保存条件及区域构造特征, 开展油气资源综合评价。

参考文献:

[1] 徐汉林, 赵宗举, 杨以宁, 等. 南华北盆地构造格局及构造样式[J]. 地球学报, 2003, 24(8): 27-33.

[2] 袁正文, 何明喜, 宋建华, 等. 周口残留盆地油气勘探前景分析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(6): 679-685.

[3] 郭绪杰, 焦贵浩. 华北古生界石油地质[M]. 北京: 地质出版社, 2002.

[4] 周建林. 济阳拗陷上古生界煤成气成藏规律认识[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(2): 47-50.

[5] 秦建中, 贾蓉芬, 郭爱明. 华北地区煤系烃源层油气生成° 运移° 评价[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

[6] 王兆云, 何海清, 程克明. 华北区古生界原生油气藏勘探前景[J]. 石油学报, 1999, 20(2): 1-6.

[7] 梁生正, 谢恭俭, 马 郡, 等. 华北石炭—二叠系残留盆地天然气勘探方向[J]. 天然气工业, 1998, 18(6): 18-21.

[8] 常象春, 王明镇, 韩作振. 试论适合叠合盆地的油源对比方法[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 32-36.

[9] 全书进, 饶 丹, 孔凡军. 周口拗陷上古生界油气资源潜力分

析[J]. 石油实验地质, 2004, 26(6): 19-24.

[10] 祝厚勤, 朱 煜, 尹 玲. 周口盆地东部(阜阳地区)石炭—二叠系煤成烃勘探潜力研究[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(5): 407-410.

[11] 田在艺, 张庆春. 论改造型盆地与油气成藏——以华北东部盆地为例[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 23-28.

[12] 刘池阳, 杨兴科. 改造盆地研究和油气评价的思路[J]. 石油天然气地质, 2002, 21(1): 11-14.

[13] Magoon L B, Dow W G. 含油气系统——从烃源岩到圈闭[M]. 张 刚, 蔡希源, 高泳生等译. 北京: 石油工业出版社, 1998.

[14] 王宗礼, 罗 强, 赵 锋, 等. 南华北地区鹿邑凹陷石炭—二叠系有利成藏条件分析[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(2): 7-11.

[15] 陈瑞银, 余小庆, 徐思煌. 周口鹿邑凹陷埋藏演化史恢复及油气远景评价[J]. 滇黔桂油气, 2002, 15(1): 30-33.

[16] 郑礼全, 李贤庆, 钟宁宁. 华北地区上古生界煤系有机质热演化与二次生烃探讨[J]. 中国煤田地质, 2001, 13(4): 16-19.

[17] 孙自明. 周口拗陷的反转构造与构造演化[J]. 石油地球物理勘探, 1998, 33(2): 252-257.

(上接第 248 页)

参考文献:

[1] 张金阳, 马昌前, 余振兵, 等. 大别造山带北部铁佛寺早古生代同碰撞型花岗岩地球化学和年代学证据[J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37(1): 1-9.

[2] 李鹏春, 陈广浩, 许德如, 等. 湘东北新元古代过铝质花岗岩的岩石地球化学特征及其成因讨论[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 126-136.

[3] 李永军, 杨高学, 庞振甲, 等. 天水渭北地区变质花岗岩类岩石学特征及其地质时代[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(1): 6-9.

[4] 赵茹石. 甘肃省板块构造单元划分及其构造演化[J]. 中国区域地质, 1994, 12(1): 28-36.

[5] Le Maitre R W . A Classification of Igneous Rock and Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Ig neous Rock[M]. England: Blackwell Scientific Publication, 1989.

[6] 邱家骧. 岩浆岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1985.

[7] Boynton W V. Geochemistry of the Rare Earth Elements; Meteorite Studies[C] //Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam; Elsevier, 1984; 63-114.

[8] McDonough W F, Sun S S, Ringwood A E, et al. K, Rb

and Cs in the Earth and Moon and the Evolution of the Earth's Mantle[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1991, 3: 73-81.

[9] Bowen N L, Tuttle D F. Origin of Granite in the Light of Experimental Studies in the System[J]. Geological Society of America Bulletin, 1953, 37: 57-68.

[10] Pearce J A. Trace Element Characteristics of Lavas from Destructive Plate Boundaries[C] //Thorps R S. Andesites. Chichester; Wiley, 1982; 525-548.

[11] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks[J]. Journal of Petrology, 1984, 25(4): 956-983.

[12] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic Discrimination of Granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 1987, 101: 635-643.

[13] Collins W J. S-and I-type Granites of the Eastern Lachlan Fold Belt: Products of Three-component Mixing[J]. Earth Sciences, 1996, 88: 171-179.

[14] 肖 林, 梁明宏, 冯备战, 等. 1 : 50 000 青城乡幅、金崖乡幅地质图及说明书[M]. 北京: 地质出版社, 1996.

[15] 肖 林, 梁明宏, 冯备战, 等. 1 : 50 000 水川乡幅、北湾乡幅地质图及说明书[M]. 北京: 地质出版社, 1994.

[16] 肖序常, 王 军. 青藏高原的构造演化及隆升的简要评述[J]. 地质论评, 1998, 44(4): 372-381.