

文章编号:1001-6112(2011)02-0148-07

华北南部地区石炭—二叠系勘探前景分析

徐向华,陈新军,雷 鸣,李淑筠,周小进,武明辉

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:华北南部地区虽然经历了复杂构造—沉积演化,但通过对区内石炭—二叠系煤层系埋藏结构和生烃演化类型的分析认为,该区石炭—二叠系具备较好的烃源物质基础。其中,中构造层(三叠系、侏罗—白垩系)的原始沉积厚度相对较小、新生代沉积厚度较大的 3 层埋藏结构和晚期生烃型的部分凹陷,具备喜山期“二次生烃”形成煤成气的潜力,有较好的勘探前景。结合该区石炭—二叠系煤层系煤成气成藏特点提出了评价原则,优选了有利的勘探靶区并提出了勘探部署建议。

关键词:勘探前景;石炭—二叠系;华北南部

中图分类号:TE132.2

文献标识码:A

Exploration prospects of the Carboniferous and Permian in the southern North China

Xu Xianghua, Chen Xinjun, Lei Ming, Li Shujun, Zhou Xiaojin, Wu Minghui

(Research Institute of Exploration and Production, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the study of the covered structures and analysis of the hydrocarbon evolution types in coal-bearing strata of southern North China, it was showed that there was good hydrocarbon source in the Carboniferous—Permian sequence. The thickness of original middle layer in coal-bearing strata, the Triassic and Jurassic—Cretaceous, was relatively thin. Some Neogene sags showed favorable potential such as three covered structures and late hydrocarbon generation. The coal-forming gas accumulation could be formed in the secondary hydrocarbon generation of Himalayan stage, so it was showed the good exploration prospects in southern North China. Based on the coal-forming gas accumulation features, the evaluation principle was proposed and some gainful exploration targets were evaluated.

Key words: exploration potential, Carboniferous—Permian, southern North China

南华北地区是一个经历了复杂构造—沉积演化历史的典型的改造叠合盆地发育区。近年来,针对华北南部地区石炭—二叠系含煤层系(以下简称 C—P)源岩的研究成果,已证实该地区 C—P 含煤层系具有二次生烃和晚期成藏的过程。这些成果的取得提升了该领域的勘探信心,促进了华北南部地区中、新生代盆地深部的石炭—二叠系为主要目的层的油气勘探。目前认为,喜山期“二次生烃”潜力、油气聚集和保存条件是评价区内石炭—二叠系含煤层系油气前景最关键的地质因素,紧邻“二次生烃”中心区应是未来的勘探重点区带。

1 多期次的构造—沉积作用

本文所指华北南部地区位于秦岭—大别造山带之北,地跨华北地台稳定块体、地台南侧边缘变

形地带和秦岭—大别造山带的北部边缘,包括渤海湾盆地的一部分(济阳拗陷、临清拗陷、东濮凹陷)和南华北诸盆地(周口拗陷、济源凹陷、合肥盆地等)。它分属 6 个大地构造单元:山西隆起区、豫西隆起区、渤海湾盆地、南华北盆地(河淮盆地)、鲁西南隆起区及徐淮隆起区(图 1)。

据其发展演化历史,区内具有多构造层、多盆地(拗陷、凹陷)迭加和复杂演化历史的特点。

渤海湾盆地呈 NE 向展布,四隆四拗,隆拗相间;南华北盆地呈 EW 向展布,三拗夹两隆。成武—鱼台凹陷和洛伊—济源凹陷分别坐落于豫西隆起区和鲁西南隆起区之上,属于隆起构造背景上的次级凹陷。

区内自下而上可存在 7 个构造层:元古宇—寒武—奥陶系、石炭—二叠系、三叠系、中下侏罗统、

收稿日期:2011-02-14;修订日期:2011-04-06。

作者简介:徐向华(1964—),女,高级工程师,主要从事资源评价与勘探选区研究。E-mail: xuxianghua@pepris.com。

基金项目:中国石化先导项目(G5800-09-ZS-YTB025)。

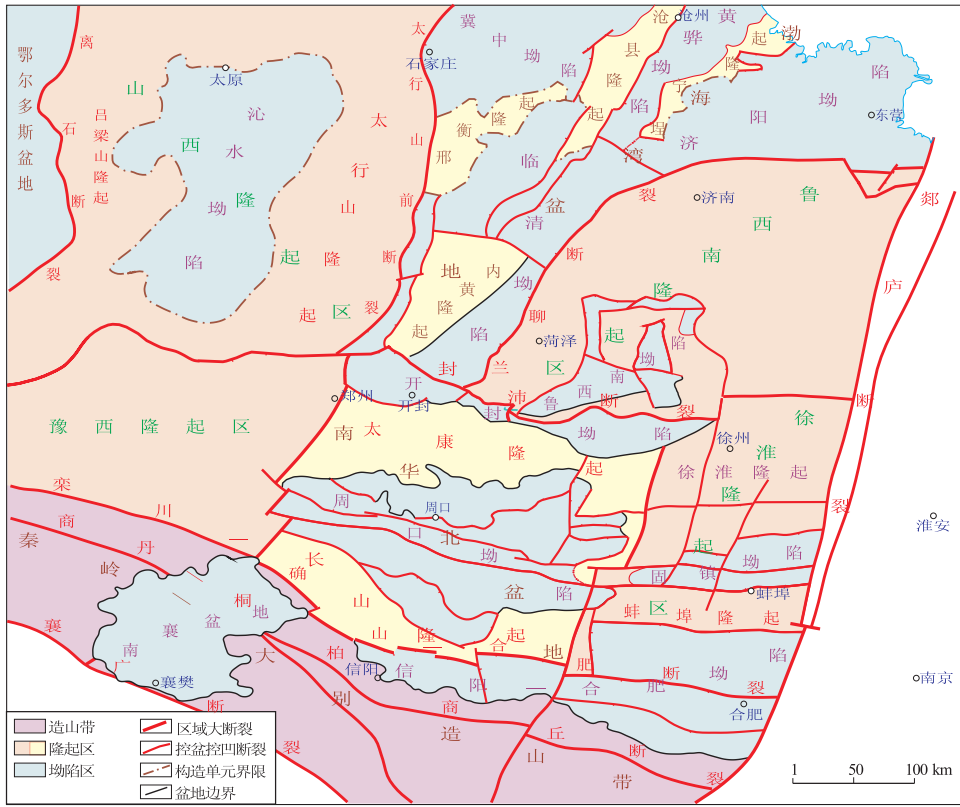


图 1 华北南部地区构造区划

Fig. 1 Tectonic classification of the southern North China

表 1 华北南部地区地层对比及地层间断对比简表

Table 1 Simplified stratigraphic correlation and stratigraphic hiatus in the southern North China

界	系	统	济阳拗陷	临清拗陷	东濮凹陷	洛伊凹陷	济源凹陷	中牟凹陷	成武凹陷	鱼台凹陷	黄口凹陷	周口拗陷				合肥盆地			
			平原组	平原组	平原组	平原组	平原组	平原组	平原组	平原组	平原组	平原组	平原组	襄城凹陷	灤北-沈丘	倪丘集凹陷	舞阳凹陷	第四系	
新生界	新近系	上渐统	明化镇组				新近系	明化镇组				正阳关组							
		中渐统	馆陶组					馆陶组											
	渐新统	东营组				东营组				上寺组									
	古近系	始新统	沙河街组				南姚组 济阳组 蔡庄组	沙河街组				核桃园组							
古近系	古新统	孔店组				孔店组	孔店组				大仓房组				土金山组				
	古新统	孔店组				孔店组	孔店组				玉皇顶组				玉皇顶组				
中生界	白垩系	上统	王氏组	无极组					张各庄组				大柳组				张各庄组		
		下统	西洼组	丘城组					曹山组				水王组				朱巷组		
	侏罗系	上统	魏城组	临淮组					汶南组				陈棚组				朱巷组		
		中统	三官组	坊子组					汶南组				朱巷组				圆筒山组		
	三叠系	上统																	圆筒山组
		中统																	圆筒山组
古生界	二叠系	上统	石千峰组				石盒子组				石千峰组				石千峰组				
		中统													石千峰组				
	下统													石千峰组					
	石炭系	上统													石千峰组				
志留-泥盆系	上统													石千峰组					
寒武-奥陶系	上统													石千峰组					

上侏罗统一下白垩统、上白垩统一古近系、新近系。有 5 个构造发展演化阶段：早古生代—晚古生代地台、三叠纪大型陆内拗陷、侏罗纪—早白垩世小

型陆内拗陷、晚白垩世—古近纪断陷和新近纪以来大型拗陷(表 1)。由于这些不同世代(构造层)纵向上的并列、迭加形成了现今复杂的地质构造格局。

区内构造单元复杂,每个坳陷内又有多个凹陷、斜坡、凸起等次级构造单元。由于各期构造作用区域上的不均衡,它们之间的演化历史差异甚大。

2 较好的烃源基础

古生代区内沉积稳定,石炭—二叠纪在总体的海退背景下形成了含煤岩系地层。其主要为一套海陆交互相—陆相含煤碎屑岩沉积,由碳酸盐台地体系—碎屑滨岸体系—三角洲体系—河流体系组成进积型充填序列。济阳坳陷 C—P 地层残留厚度约为 400~600 m,临清坳陷约为 400~1 000 m,周口坳陷约为 400~1 200 m。其中,海陆交互相的暗色泥质岩和煤层具有良好的生烃原始条件。

由于印支、燕山、喜山期多次构造运动的改造,现今为上覆地层封盖的 C—P 地层已成为彼此分割的残留块体。其宏观分布格局主要受印支运动的控制。印支期的复式向斜带是其残留厚度最大的区带,包括沁水、黄骅、冀中、济阳、临清—东濮、济源—中牟—黄口及太康地区。但是,由于燕山期进一步加剧了这种分带的格局,喜山期的构造发展又加剧了 C—P 含煤岩系的分割及成藏条件的分异性,导致华北南部地区各凹陷 C—P 成烃—成藏条件变化甚大。

南部的南华北盆地烃源岩比渤海湾和鄂尔多斯盆地发育(图 2,3)。C—P 在济阳坳陷、临清坳陷、东濮凹陷和南华北区都有比较稳定的分布,并发育有较厚的暗色泥岩。煤层及暗色泥质岩在纵

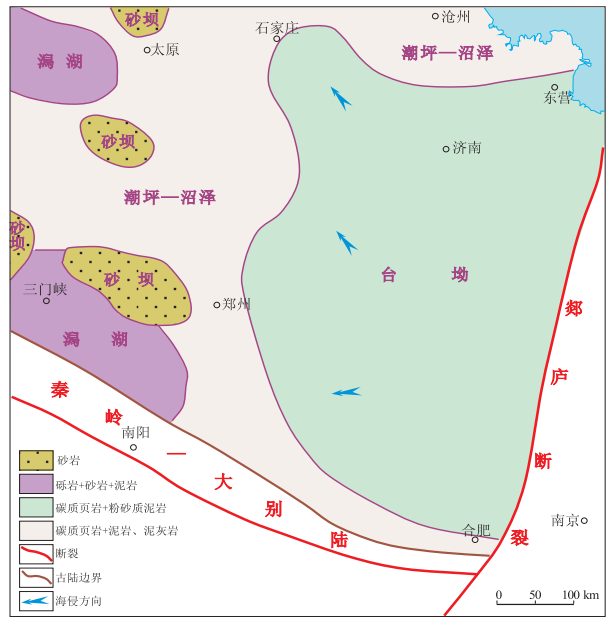


图 3 华北南部下二叠统太原组沉积相
Fig. 3 Depositional facies for the Lower Permian Taiyuan formation in southern North China

向上以太原组和山西组为主,其次是本溪组。与渤海湾地区相比,南华北地区 C—P 在下石盒子组以下层位,煤和暗色泥岩厚度基本相近,但在南华北地区上石盒子组仍有煤层和较厚的暗色泥岩发育,也具有较好的生成煤成烃的潜力。

据统计,区内 C—P 暗色泥岩在研究区北部的济阳—临清地区较薄,厚约 80~150 m,主要发育在山西组—太原组;在南华北区较厚,300~400 m,分布在太原组—上石盒子组。全区煤层累计厚度差异不大,主要煤层富集的层位从北向南变新:在渤海湾盆地南部济阳—临清地区,煤层主要富集在太原组上部和山西组中下部,厚 20~30 m;在南华北区,煤层主要富集在山西组—上石盒子组,一般厚 20~40 m;在合肥盆地商城—固始地区,煤层累计厚达 43.6 m。

3 烃源演化

华北南部地区自古生代至新生代经历了早古生代—晚古生代地台、三叠纪大型陆内坳陷、侏罗纪—早白垩世小型陆内坳陷、晚白垩世—古近纪断陷和新近纪以来大型坳陷等 5 个盆地的演变阶段。这一复杂的演变历程所导致的多期次构造运动的剧烈活动和极不均衡的抬升与沉降,对区内 C—P 含煤岩系埋藏演化历史及有机质的热演化进程影响甚大。据大华北区 C—P 含煤岩系煤、暗色泥质岩厚度、有机质丰度统计资料,由于区内上石盒子组有海侵层序,有机质丰度较高,也具有一定的生

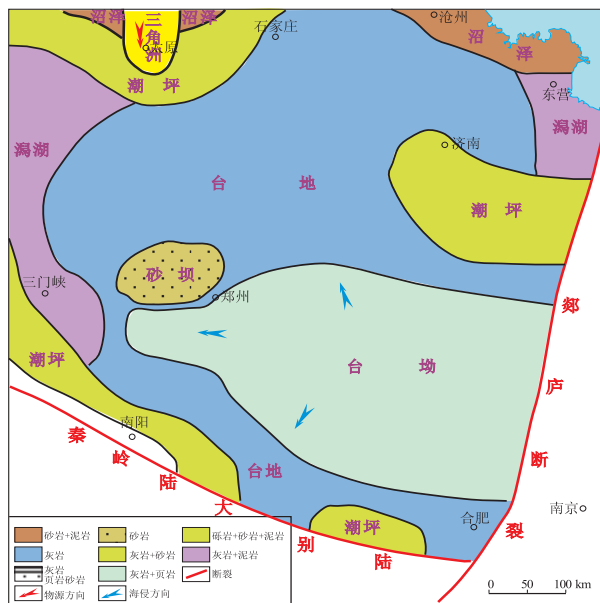


图 2 华北南部上石炭统本溪组沉积相

Fig. 2 Depositional facies for the Upper Carboniferous Benxi formation in southern North China

烃潜力,使 C—P 含煤岩系的生烃潜力优于华北北部及鄂尔多斯盆地,但后期的生烃演化历史复杂,致使其煤成油气前景明显差于上述地区。

3.1 海西运动期间的热演化

海西运动期间,华北南部处于大型克拉通盆地缓慢沉降—沉积时期,C—P 含煤岩系在深埋作用和正常古地温的影响下发生第一次热演化过程。在这次演化过程中,济阳拗陷山西组 II₁ 煤埋深在 2 800~3 200 m, R₀<0.80%;临清拗陷东部,东濮拗陷及南华北的太康隆起—周口拗陷地区和两淮地区,山西组 II₁ 煤埋深 3 000~3 500 m, R₀<0.82%(图 4)。这次演化过程奠定了渤海湾盆地和南华北主要拗(凹)陷地区有机质成熟的基础。

3.2 晚三叠世板块运动的影响

晚三叠世,受库拉—太平洋板块向华北板块俯冲、挤压、走滑影响,华北板块整体向西南掀斜,渤海湾及两淮地区隆升剥蚀,南华北地区成为大鄂尔多斯盆地的东延部分,沉积范围涉及邯郸—东明—成武—亳州以西地区。这促进了 II₁ 煤的进一步演化,济源地区达到生烃高峰,但东北部地区因为晚三叠世沉积很薄或没有沉积,仍维持在生烃门限附近。

3.3 燕山期烃源演化特点

燕山期,在区内至少经历了早侏罗世、晚侏罗世、早白垩世 3 期以上的构造运动,形成了性质各异、相对独立又多期叠加的多个中生代盆地。在济源—洛阳地区,早中侏罗世以济源为中心持续沉降,

沉积了 1 700~2 500 m 的中下侏罗统,烃源岩热演化继续增加,郑州以西地区 R₀ 增至 3.5% 以上。合肥盆地至早白垩世末 C—P 埋深已达 4 000 m,南部地区达 7 000 m 以上, R₀ 值达 5.0% 以上。晚侏罗—早白垩世为临清拗陷主要断陷沉积期,拗陷内分布有多个沉积中心,以丘县凹陷沉积厚度最大,达 2 000~3 000 m;冠县凹陷 1 300~1 800 m;莘县凹陷 1 000 m 左右。中三叠世末停顿的有机质热演化又重新开始, R₀ 值区域性增至 1.4% 以上,丘县凹陷 II₁ 煤 R₀ 增至 2.5% 以上。济阳拗陷由于 J₃—K₁ 期的沉积范围有限,且沉降幅度相对较小,C—P 含煤岩系烃源岩演化程度变化不大, R₀<0.80%,仍保留了较多的晚期生烃潜力。

3.4 喜山期的“二次生烃”

晚白垩世末—古近纪早期的喜山运动(I幕),是渤海湾断陷盆地最发育的时期,在区内形成一系列断陷盆地。新生代沉积巨厚,促进了这些断陷中 C—P 含煤岩系有机质的进一步演化,形成了文留、白庙、苏桥、乌马营、孤北等煤成气田。但在南华北地区晚白垩世以后断陷作用的强度明显减弱,只有颜集断陷在古近纪至新近纪沉积厚达 7 000 m,在倪丘集等凹陷的中心地带沉积厚度超过 4 000 m,使 C—P 含煤岩系进入喜山期“二次生烃”门限。南华北多数地区由于新生代沉积厚度小于 3 500 m, C—P 含煤岩系没有进入喜山期“二次生烃”门限。

在济阳拗陷,新生代形成东营、沾化、车镇和惠民 4 个单断型凹陷(图 5)。前 3 个断陷最深处 C—P

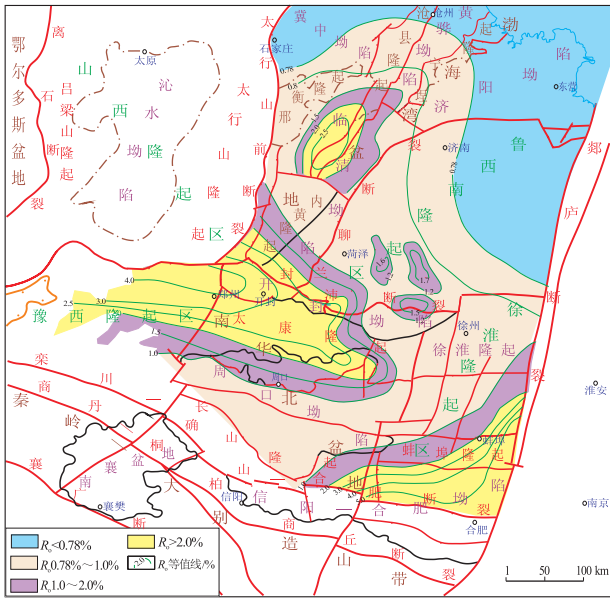


图 4 华北南部早白垩世末 II₁ 煤 R₀ 等值线

Fig. 4 Contour map showing R₀ value of II₁ coal layer at the Early Cretaceous in the southern North China

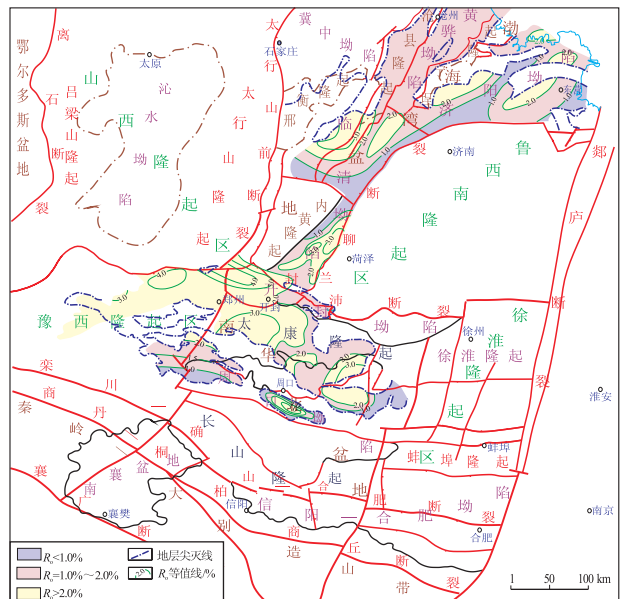


图 5 华北南部 II₁ 煤现今 R₀ 等值线

Fig. 5 Contour map showing present R₀ value of II₁ coal layer in the southern North China

含煤岩系埋深可达 5 000~6 000 m, $R_0 > 2.0\%$ 以上。由于 C-P 含煤岩系一次生烃时热演化程度不高 ($R_0 \approx 0.8\% \pm$), 且侏罗—白垩纪演化程度递进有限, 喜山期“二次生烃”潜力较大。在东濮凹陷, 因 C-P 含煤岩系的上部有几百米厚的三叠系, 煤系保存完整, 又未经侏罗—白垩纪生烃消耗, 所以喜山期“二次生烃”潜力更大。临清拗陷以及济阳拗陷的惠民凹陷, 新生界厚 1 000~4 000 m, 但因中生代沉积地层过厚, C-P 含煤岩系喜山期“二次生烃”潜力不大。济源拗陷新生代虽强烈断陷, 沉积了 4 000 m 以上的古近系, 但是 C-P 含煤岩系的有机质在中侏罗世就已进入高演化阶段, R_0 值已达 4.0% 以上, 已没有二次生烃的可能。周口拗陷, 新生界厚 2 000~7 000 m, 但多数凹陷因巨厚的白垩系, C-P 含煤岩系的有机质 R_0 多已大于或接近 2.0%, 只有倪丘集凹陷烃源岩“一次生烃”演化程度低, 具喜山期“二次生烃”能力(图 6)。

4 盆地结构与生烃类型

研究认为, 区内 C-P 含煤岩系有机质的演化历史可总结为: 2 种结构类型和 4 种埋藏生烃类型。

2 种结构类型是 3 层结构和 4 层结构; 3 层结构有 E-N/J-K/C-P, E-N/T/C-P 亚型, 前者如济阳、东濮拗陷, 后者如谭庄、合肥凹陷; 4 层结构为 E-N/J-K/T/C-P。4 种生烃类型是早期生烃型、多期生烃型、持续生烃型及晚期生烃为主型。

就评价喜山期“二次生烃”的潜力而言, 3 层结构明显地优于 4 层结构。因为 4 层结构的凹陷, 在喜山期前经历过 2 期甚至 2 期以上的原始沉积过程, 喜山期前经历过较大的埋深, C-P 含煤岩系中的有机质已进入较高的演化阶段, 喜山期“二次生烃”的潜力很小, 甚至没有(如合肥盆地)。但并不是所有 3 层结构的凹陷都具有喜山期“二次生烃”潜力, 它还取决于中层(三叠系、侏罗—白垩系)的原始沉积厚度, 以及新生代的沉积厚度。如沈丘凹陷虽然也是 3 层结构(E-N/J-K/C-P), 但是白垩纪沉积厚达 4 000 m, C-P 含煤岩系的有机质在白垩纪已进入了较高的热演化阶段, 进入喜山期 C-P 含煤岩系有机质“二次生烃”的潜力极小。因此, 3 层结构的拗陷(凹陷)只有当中层(三叠系、侏罗—白垩系)的原始沉积厚度相对较小和新生代沉积厚度较大的部分凹陷才具有喜山期“二次生烃”

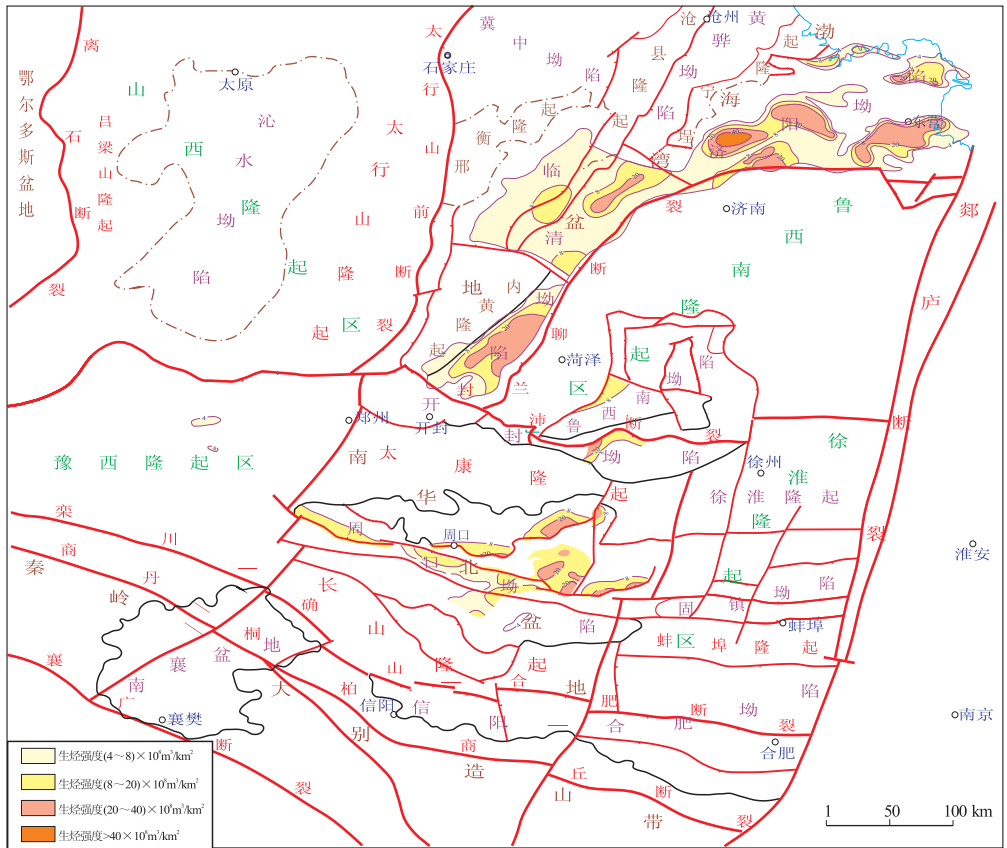


图 6 华北南部地区石炭—二叠系喜山期生烃强度

Fig. 6 Intensity of hydrocarbon generation of the Carboniferous—Permian sequence during the Himalayan period in southern North China

潜力,才具有找寻以 C—P 含煤岩系为源岩的煤成气田的可能。

因为区内复杂的地史经历,4 种生烃类型中的早期或多期生烃史类型所生成的烃类都难以保存;持续生烃型在区内分布的范围很窄,只存在于济源凹陷及洛伊坳陷,但在喜山期断裂发育,所生成的煤成烃难以保存;晚期生烃为主型主要发育在 C—P 含煤岩系早—中期(中生代前)演化程度低($R_o < 0.8\% \sim 1.0\%$),新生代沉积厚度大于 4 000 m,使 C—P 含煤岩系的有机质在新生代进入“二次生烃”,并具有较强的生烃潜力的凹陷。由于晚期生烃为主型具有生烃期晚,生烃潜力较大的特点,有利于保存,是 4 种生烃史类型最有找寻以 C—P 含煤岩系为源岩的煤成气田前景的生烃类型。

4 种生烃史类型表明,区内不同凹陷因为主生烃期不同,存在 3 个成藏的关键时刻(印支期、燕山期、喜山期),并且只有以喜山期为主要关键时刻的凹陷才有找寻以 C—P 含煤岩系为源岩的煤成气田的可能。这也进一步表明区内盆地(坳陷、凹陷)构造演化历史及各时期沉积构造层的迭加特点的不同,对区内煤成气勘探前景的评价起至关重要的

控制作用。

5 选区评价与下一步勘探突破方向

5.1 选区评价原则

根据华北南部地区石油地质特点以及对主要目的层 C—P 的沉积演化和资源前景的分析研究,确定了以下选区评价原则:(1)C—P 含煤岩系喜山期“二次生烃”潜力(有效生烃强度与生烃灶面积)有利区是选区评价的基础;(2)地层以 3 层结构为主,且上古生界存留面积较大的地区;(3)构造演化以早中期(T—J—K)浅埋藏—晚期(E—N—Q)深埋藏区最有利;(4)结合保存条件和前期勘探效果分析,优选邻近喜山期“二次生烃”灶的洼中隆起和斜坡。

5.2 选区评价结果

根据上述选区评价原则,通过分析研究认为华北南部地区东营、惠民、沾化、东濮、莘县北部等地区是 C—P 勘探的有利目标区;车镇、冠县、丘县、倪丘集、颜集、鹿邑等凹陷是 C—P 勘探突破的较有利地区;成武、洛阳—伊川、谭庄—沈丘、襄城等凹陷的 C—P 具有一定的勘探前景(图 7)。

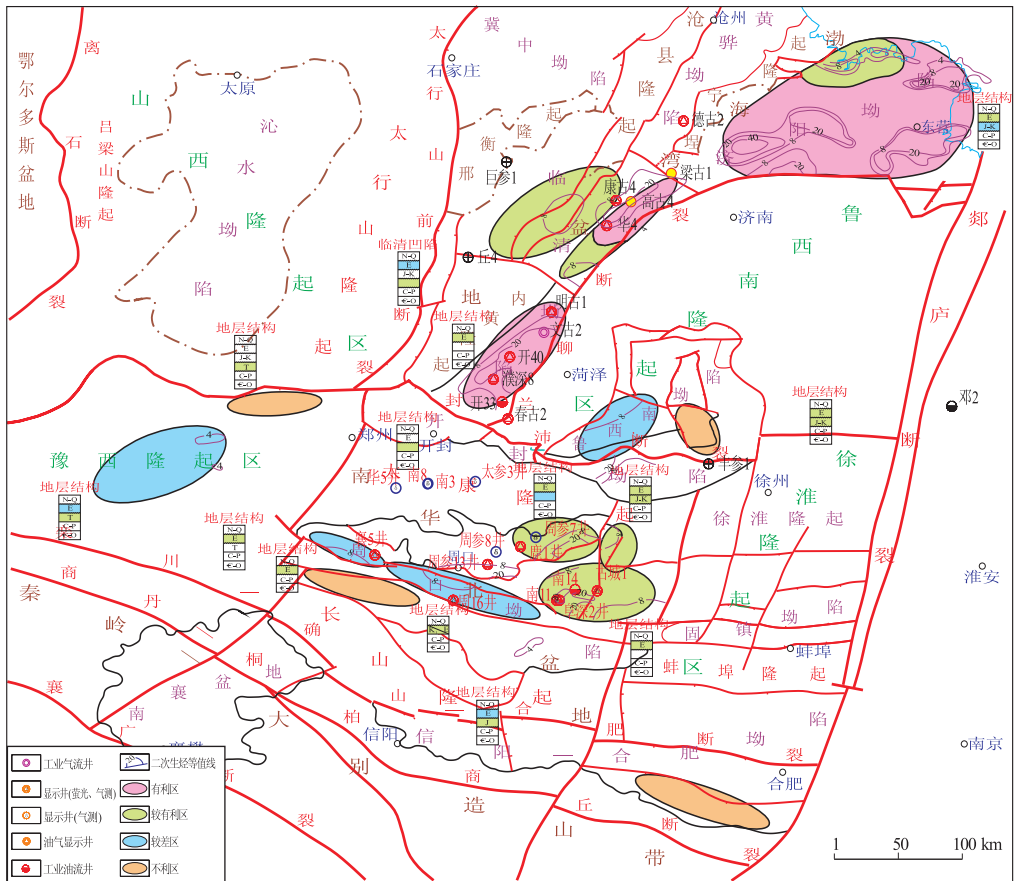


图 7 华北南部地区石炭—二叠系勘探综合评价

Fig. 7 A synthetic evaluation for the Carboniferous—Permian exploration in southern North China

5.3 下一步勘探突破方向

华北南部地区以 C—P 含煤岩系为主攻目标的油气勘探已历经 50 多年,见多处油气显示,也发现了少数具工业价值的气田。说明该区具有油气生成和聚集成藏条件,是值得进一步工作的地区和领域。其中济阳坳陷、临清坳陷已发现文留、白庙等气田以及高古 4 井、孤北等含气构造,近中期通过精细刻画、落实目标,钻探实施可扩大储量规模;南华北地区的倪丘集和颜集凹陷将是近期 C—P 取得突破最现实的地区。

倪丘集凹陷是阜阳地区面积最大、烃源岩较发育、资源规模较大、勘探前景较好的凹陷。前期勘探中南 12 井试获低产原油,分析研究认为油源来自上古生界。另外还有多口井在上古生界见油气显示,是勘探 C—P 煤成油气的较有利区。但前期勘探的重点是凹陷内的高部位,探井主要部署在凹陷高部位上的构造高点,以找浅层的煤成油为主,没有紧邻喜山期“二次生烃”区,且地震资料品质差(1983 年以前采集),构造落实程度差,可能是造成未达到预期效果的主因。通过本次重新评价研究认为该区 C—P “二次生烃”强度大(大于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$),通过深凹区加密地震测网密度,进一步落实凹中隆深部含气构造,可择机上钻取得勘探突破。

颜集凹陷是阜阳地区 C—P 含煤岩系分布面积较大、地层保存较为完整、古近纪沉积最厚的凹陷,是南华北区最具有喜山期“二次生烃”条件的凹陷。研究认为,颜集凹陷具有形成 C—P 含煤岩系自生自储型油气藏和下生(C—P 含煤岩系)上储(新生界及三叠系)、上(C—P 含煤岩系)生下(下古生界)储型油气藏的地质条件。在凹陷的中心区可以下生上储型油气藏为主勘探;在边部可以兼探下生上储、C—P 含煤岩系自生自储及上生下储型油气藏。其中颜集凹陷凤凰寺—龙岗构造带是由古生界形成的断鼻带,位于大杨集断层下降盘,生、储、盖组合条件较为有利,处于喜山期“二次生烃”区的上倾方向,断层受各期构造运动的影响较小,地层变形程度轻,利于油气藏保存,是下一步勘探的首选区带。

6 结论

1) 华北南部地区内 C—P 含煤岩系为源岩的

含气系统绝大多数以喜山期“二次生气”为主要气源,资源丰度取决于喜山期“二次生气”的强度。但还要重视其它相关地质条件,特别是聚集与保存条件的匹配。

2) “二次生烃”作用是初次生烃作用之后多次生烃作用的统称,本文强调的是喜山期“二次生烃”的潜力。从华北南部地区的地质演化历史看,从印支期至喜山期经历了多期次的抬升、沉降、抬升剥蚀,演化历史复杂,发生过多生烃作用。区内印支期以来沉积构造演化历史分异性很大,多次生烃作用在这些坳、凹陷中差异甚大。必需掌握具体的坳、凹陷所经历具体的构造及沉积、剥蚀量等基础地质资料,才能对区内的坳、凹陷 C—P 含煤层系喜山期“二次生气”前景做出客观评价。

3) 对南华北与 C—P 评价有关的盆地,需进一步研究构造运动面、三叠系及其上覆地层的原始展布、被剥蚀情况及剥蚀量、热场变化及多次运动后的沉积物的叠加、断裂的通天情况等,并进一步围绕喜山期“二次生烃”中心区开展保存条件研究。

参考文献:

- [1] 徐汉林,赵宗举,吕福亮,等. 南华北地区的构造演化与含油气性[J]. 大地构造与成矿学,2004,28(4):450—463.
- [2] 徐汉林,赵宗举,杨以宁,等. 南华北地区的构造格局及构造式样[J]. 地球学报,2003,24(1):27—33.
- [3] 蒋礼宏,刘太成,刘小平. 南华北盆地黄口凹陷地震解释及构造特征分析[J]. 小型油气田,2004,9(2):21—24.
- [4] 全裕科,柳广弟,丁文龙. 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—379.
- [5] 张鹏,王良书,刘绍文,等. 南华北盆地群岩石圈热一流变结构[J]. 高校地质学报,2006,12(4):530—536.
- [6] 熊保贤,刘和甫. 南华北盆地与东秦岭—大别造山带的耦合关系[J]. 地学前缘,2000,7(3):152.
- [7] 谢其锋,周立发,刘新华,等. 南华北盆地周口坳陷南 12 井油藏成藏条件分析[J]. 石油地质与工程,2008,22(5):14—17.
- [8] 饶丹,全书进. 南华北盆地周口坳陷周参 10 井低产油流剖析[J]. 石油实验地质,2005,27(6):612—618.
- [9] 徐汉林,赵宗举,杨以宁,等. 南华北盆地黄口凹陷构造演化与油气勘探方向[J]. 中国矿业大学学报,2003,32(5):590—595.
- [10] 刘小平,刘太成,蒋礼宏,等. 南华北盆地黄口凹陷构造形成演化及油气勘探前景[J]. 石油勘探与开发,2000,27(5):8—11.

(编辑 叶德燎)