

doi:10.19509/j.cnki.dzkq.2020.0208

李智,张志业,何登发,等.南襄盆地泌阳凹陷与南阳凹陷油气地质特征类比及勘探启示[J].地质科技通报,2020,39(2):74-84.
Li Zhi,Zhang Zhiye,He Dengfa,et al.Comparison in petroleum geology between Biyang Depression and Nanyang Depression in Nanxiang Basin and its exploration significance[J].Bulletin of Geological Science and Technology,2020,39(2):74-84.

南襄盆地泌阳凹陷与南阳凹陷油气地质特征类比及勘探启示

李智^{1,2}, 张志业^{1,2}, 何登发¹, 李岩², 黎腾²

(1.中国地质大学(北京)能源学院,北京 100083; 2.中国石化河南油田分公司,河南 南阳 473400)

摘要:泌阳凹陷和南阳凹陷均属于南襄盆地次级构造单元,两者被唐河低凸起分隔,有效勘探面积相近,但凹陷资源量、已探明地质储量、石油天然气产量差异很大,油气分布具不均衡性。以两个凹陷的地震、钻井、测录井、地球化学资料为基础,立足于已有的勘探地质认识,从大地构造、含油气盆地要素分析、石油地质学的角度深入分析了两凹陷的相似性和差异性。研究表明,两凹陷在大地构造背景、构造演化阶段、凹陷平面形态、地层系统等方面具相似性。两凹陷的差异性主要表现在基底性质、边界断裂特征、沉降特征、地温特征、烃源岩特征、沉积体系、储集层物性、生储盖配置、圈闭特征、油气成藏期次及成藏模式 10 个方面。其中,基底性质和凹陷地质结构差异导致的油气成藏要素和成藏作用不同是油气分布不均衡性的决定因素。油气地质特征类比表明,南阳凹陷勘探程度相对较低,只要借鉴泌阳凹陷的成功勘探经验,创新地质认识,配套勘探关键技术,开展多领域、多层次、多油藏类型的立体勘探,仍具有较大的勘探潜力。

关键词:大地构造;地质结构;成藏要素;成藏作用;油气分布;泌阳凹陷;南阳凹陷

中图分类号:P618.130.2

文章编号:1000-7849(2020)02-0074-11

收稿日期:2019-02-24

Comparison in petroleum geology between Biyang Depression and Nanyang Depression in Nanxiang Basin and its exploration significance

Li Zhi^{1,2}, Zhang Zhiye^{1,2}, He Dengfa¹, Li Yan², Li Teng²

(1.School of Energy Resources,China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083,China;
2.SINOPEC Henan Oilfield Company, Nanyang Henan 473400, China)

Abstract: Biyang Depression and Nanyang Depression are secondary structural units of Nanxiang Basin. They are separated by Tanghe low uplift and have similar effective exploration areas. However, the resources, proven geological reserves and oil productions of the two depressions are quite different. Based on the seismic, drilling, logging, geochemical data and current exploration knowledge of the two depressions, we compared their similarities and differences from the prospective of geotectonics, basin analysis and petroleum geology. We have found they share the following points: geotectonic setting, tectonic evolution stages, depression plane modality and stratigraphic systems. However, they are different more remarkably in basement properties, boundary fault characteristics, subsidence characteristics, geothermal characteristics, source rock characteristics, sedimentary system, reservoir physical properties, source-reservoir-seal

基金项目: 国家科技重大专项(2017ZX05001-001);国家重点研发计划项目(2017YFC0601405-03)

作者简介: 李智(1989—),男,工程师,主要从事盆地构造解析及石油地质综合研究工作。E-mail:lizhicug@163.com

通信作者: 何登发(1967—),男,教授,主要从事构造地质学、石油地质学研究工作。E-mail:hedengfa282@263.net

rock associations, trap conditions, petroleum accumulation mechanisms and preservation patterns. Among these aspects, the overwhelming important factors for controlling the oil and gas distributions are the basement properties and geological framework that control the accumulation factors and effects. The analogy of petroleum geological characteristics shows that the exploration degree in Nanyang Depression is relatively low. Our understanding of the successful exploration experience of Biyang Depression, our geological knowledge, and key exploration technologies, and multi-domain, multi-level, and multi-reservoir type stereoscopic exploration, suggests that the depression still have great exploration potential.

Key words: geotectonic; geological framework; accumulation factor; accumulation effect; oil and gas distribution; Biyang Depression; Nanyang Depression

南襄盆地在地理上横跨河南南阳、驻马店和湖北襄阳3个地区,大地构造位置位于秦岭—大别褶皱造山带和扬子地块北缘褶皱带交汇处(图1-a),是燕山运动晚期发育在东秦岭褶皱造山带之上的、以古近系沉积为主的中生代—新生代叠合裂陷型含油气盆地^[1-2],面积约 $1.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,盆地可分为泌阳凹陷、南阳凹陷、邓州凹陷、襄枣凹陷4个负向构造单元和社旗凸起、师岗凸起、新野凸起、唐河低凸起4个正向构造单元(图1-b)。盆地油气勘探工作开始于1970年,油气发现主要集中于泌阳、南阳两凹陷,截至目前共发现油气田13个。

泌阳凹陷南缘边界是唐河—栗园—泌阳断裂,北邻社旗凸起,西邻唐河低凸起(图1-c),从南往北划分为南部陡坡带、中部深凹区、北部斜坡带,凹陷面积 $1\,000 \text{ km}^2$,有效勘探面积 800 km^2 ,凹陷资源量 $4.13 \times 10^8 \text{ t}$ 。截至2015年,已发现双河、赵凹、下二门、新庄、王集、杨楼、古城、井楼8个油田^[3-4],已探明地质储量 $28\,152 \times 10^4 \text{ t}$,探明率68%,生产原油 $6\,747 \times 10^4 \text{ t}$,目前处于高成熟勘探阶段。

南阳凹陷南缘边界是新野断裂,西北邻师岗凸起,东北邻社旗凸起,西邻唐河低凸起(图1-c),由南向北划分为南部断超带、中部凹陷带、北部斜坡带,凹陷面积 $3\,600 \text{ km}^2$,有效勘探面积 900 km^2 ,凹陷资源量 $1.02 \times 10^8 \text{ t}$ 。截至2015年,已发现张店、魏岗、东庄3个油田和北马庄、黑龙庙等含油气区块,已探明地质储量 $3\,011 \times 10^4 \text{ t}$,探明率30%,生产原油 $456 \times 10^4 \text{ t}$,目前处于成熟勘探阶段。

泌阳、南阳两凹陷地理位置相近,仅以唐河低凸起相隔,有效勘探面积大致相当(图1-c),但油气分布却具有不均衡性,泌阳凹陷在油气资源量、已探明地质储量、储量探明率、石油天然气产量上都优于南阳凹陷。深入分析两凹陷的相似性和差异性,是将泌阳凹陷的勘探经验成功复制和借鉴于南阳凹陷,深入认识其石油地质条件,加快勘探进程所面临的第一个问题。笔者将以两个凹陷地震、钻井、测录井、地球化学资料为基础,立足于已有的勘探地质认

识,从大地构造学、含油气盆地要素分析、石油地质学的角度深入分析两凹陷的相似性和差异性^[5],剖析控制油气成藏的关键因素,为老区深化勘探提供借鉴。

1 泌阳凹陷与南阳凹陷的相似性

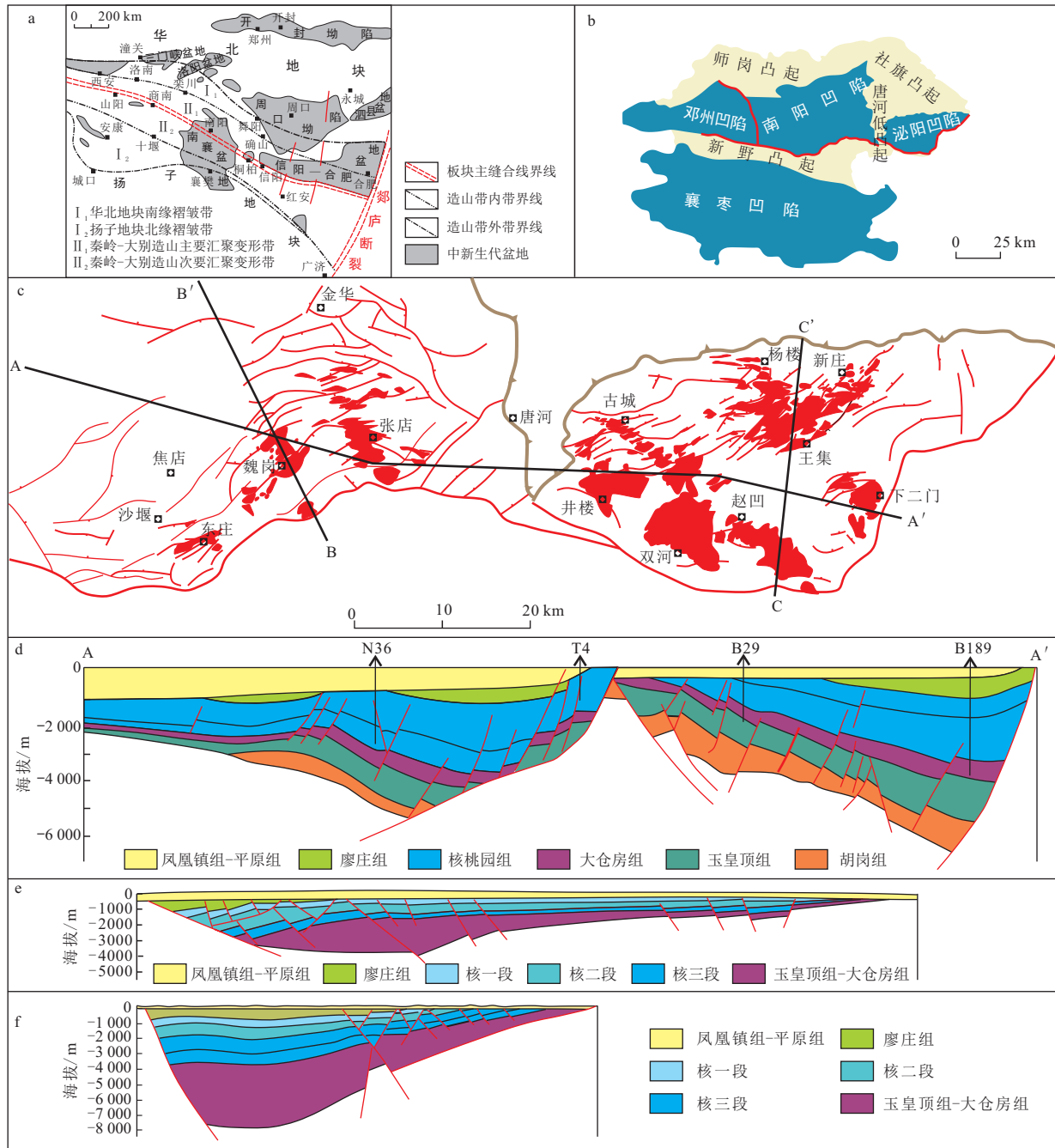
泌阳、南阳凹陷的相似性表现在以下4个方面。

(1)大地构造背景 印支运动晚期华北和扬子板块拼贴缝合形成秦岭—大别褶皱造山带^[6-10]。中生代晚期,太平洋板块俯冲到欧亚板块之下,发生弧后拉张,导致秦岭—大别褶皱造山带岩石圈强烈伸展塌陷^[11-12],北西向断层左旋剪切;郯庐断裂开始右旋平移走滑运动,带动其西侧块体右旋剪切;中间块体广泛发育近南北向拉张应力场,地幔上隆,岩石圈减薄,形成了南襄盆地等一系列晚白垩世—古近纪裂陷盆地。

(2)构造演化阶段 根据平衡地质剖面演化复原并结合单井沉降史分析,将泌阳、南阳凹陷晚白垩世以来构造演化划分为4个时期,即晚白垩世差异裂陷期、古近纪断陷期(稳定断陷幕(玉皇顶组—大仓房组沉积期)、强烈断陷幕(核三、核二段沉积期)、断陷萎缩至消亡幕(核一段—廖庄组沉积期))、古近纪末挤压抬升期、新近纪拗陷期^[1,13]。

(3)凹陷平面形态 两凹陷平面形态均表现为南断北超的箕状断陷,且南缘边界断裂均由北西向和北东向断裂呈钝角斜交构成。斜交边界断裂平移走滑运动使中间块体做拉张运动,导致凹陷形成^[14]。两凹陷均具有南北分带性,根据沉积地层和边界断裂的接触关系以及剖面形态,自南向北可划分为南部陡坡带、中部深凹区和北部斜坡带。

(4)地层系统 南襄盆地各凹陷的地层和岩性均可对比,泌阳凹陷和南阳凹陷的沉积盖层均为中生代地层,岩性主要为巨厚的河流相、湖泊相砂泥岩。自下而上为胡岗组棕红色砾岩与同色泥岩、砂岩互层;玉皇顶组紫红色泥岩夹薄层棕红色粉砂岩;园组暗色泥岩与灰色砂岩、粉砂岩(自上而下细分为



a.南襄盆地大地构造纲要图;b.南襄盆地构造单元划分简图;c.泌阳、南阳凹陷勘探形势图;d.过南阳—泌阳凹陷的东西向区域横剖面图;e.过南阳凹陷的南北向区域横剖面图;f.过泌阳凹陷的南北向区域横剖面图

图1 泌阳、南阳凹陷区域地质简图

Fig.1 Regional geology of Biyang Depression and Nanyang Depression

核一、核二、核三共3段);廖庄组棕黄色、紫红色泥岩与灰白色砾岩、粗砂岩互层;凤凰镇组棕黄色、灰绿色黏土岩与砂砾岩;平原组棕红色黏土层夹灰—灰白色流沙层或砾石层。其中古近系核桃园组为两凹陷的主要生储盖层。

2 泌阳凹陷与南阳凹陷的差异性

2.1 基底性质

重磁异常是地质体性质差异的直观反映,故可利用重磁异常数据分析南襄盆地的基底特征^[11]。以内乡—桐柏一线为界,以北为高正磁异常、低负重力异常带,以南为平缓正磁异常、负重力异常带(图2,3),说明南襄盆地以此为界,北部泌阳凹陷基底属于相对活动的秦岭褶皱造山带,即二郎坪群构造岩相带;南部南阳凹陷基底属于较稳定的扬子地台,即信阳群构

造岩相带和桐柏山构造岩相带^[14-17]。根据深反射地震资料,泌阳凹陷基底埋深最大达 8 000 m,南阳凹陷基底埋深最大达 4 500 m;泌阳凹陷莫霍面较浅,最小

深度为 35 km,而南阳凹陷莫霍面明显较深,深度最小值为 38 km,反映了挤压造山作用引起的地壳厚度增大,可见两凹陷基底性质存在较大差异。

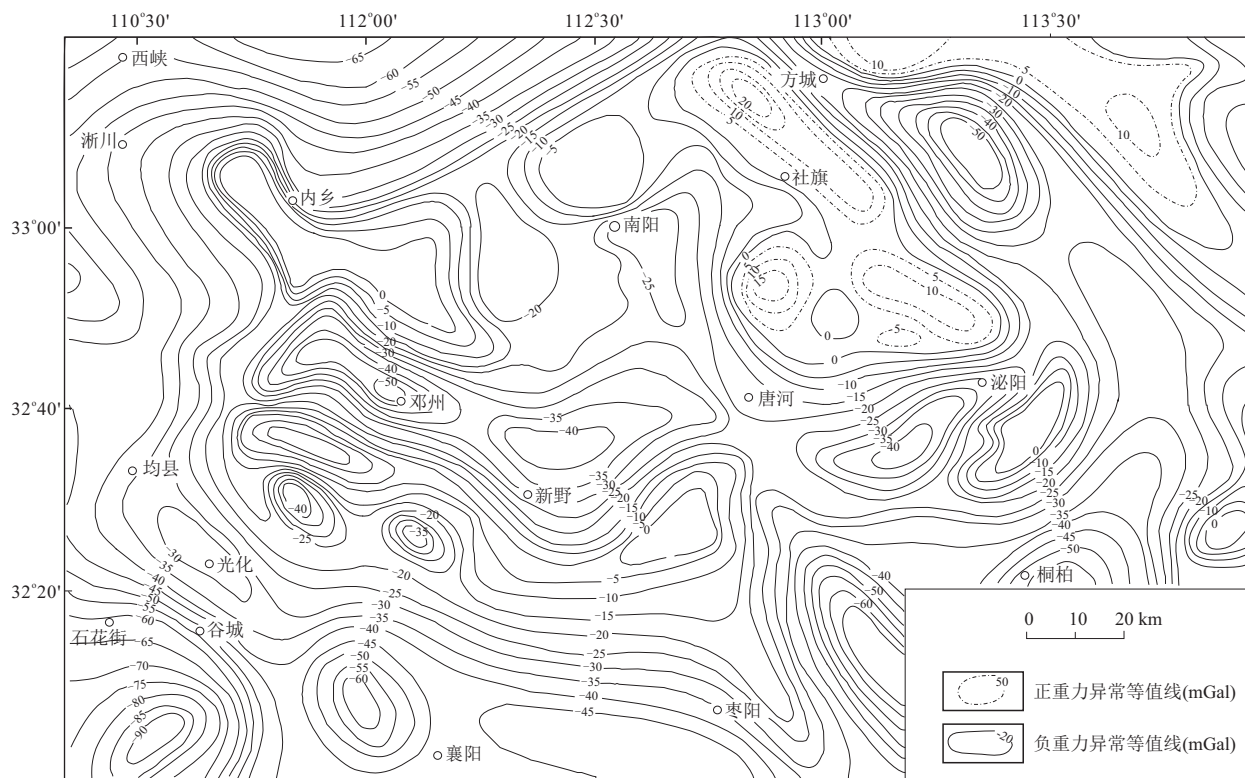


图2 南襄盆地及周缘地区布格重力异常图

Fig.2 Bouguer gravity anomaly of Nanxiang Basin and its peripheral areas

2.2 边界断裂特征

泌阳、南阳两凹陷尽管均发育南部控凹边界断裂,且断裂均由北西向和北东向断层大角度斜交构成,但断裂深度、倾角却有很大差别。

泌阳凹陷边界断裂是由北西向唐河—栗园断层和北东向栗园—泌阳断层夹持而成,倾角上陡下缓,最大约 60°,最大断距在两断层交汇处,达 8 000 m 以上,向两侧逐渐减小。唐河—栗园断层平面上走向北西西,北倾,延伸长度 33 km;剖面形态由西向东由犁式过渡为座椅式,再向东又变为犁式;强烈活动期是玉皇顶组—核三段沉积期。栗园—泌阳断层由北北东向南段、北东东向中段和北东向北段共 3 段构成,倾向北西,延伸长度 31 km;断层剖面形态在两端呈犁式,中间过渡为坡坪式;强烈活动期是核二段—廖庄组沉积期。

南阳凹陷边界断裂为新野断层,平面规模大,延伸近 60 km,断面呈上陡下缓的犁式,向深部在埋深 10 000 m 左右发生滑脱,断距最大 4 500 m 以上。总体来看,断层由 3 段组成,即走向北西的西段、走向近北东的中段和走向近北东的东段。剖面上断层东段陡,倾角 25°~30°;西段缓,东庄次洼断面倾角

只有 20°左右。

可见唐河—栗园—泌阳断层倾角较陡,断距较大,控制泌阳凹陷形成典型的南陡北缓的扇状断陷盆地。南阳凹陷边界断层倾角较缓,断距较小,为典型的低角度正断层,从而在南部形成宽的断超带,导致南阳凹陷水平拉张量大,而垂向沉降量小,形成宽而浅的“碟形”(图 1-e, f)。

2.3 沉降特征

沉降特征是研究沉积盆地形成、演化、充填的重要内容。由于边界断裂的产状不同,南阳凹陷断面缓,泌阳凹陷断面陡,在同一水平位移情况下,泌阳凹陷沉降速率大于南阳凹陷,导致泌阳凹陷沉积厚度大于南阳凹陷。通过对泌阳、南阳凹陷单井沉降史模拟并结合典型剖面恢复,将两凹陷沉降史模式总结如下:两凹陷沉降经历了弱—强—强—弱—弱的演化过程,具幕式充填特征^[18]。上白垩统沉积期(99~65 Ma),两凹陷沉降速率较慢,泌阳凹陷构造沉降速率 5~37 m/Ma,总沉降速率 5~30 m/Ma,沉积速率 10~75 m/Ma;南阳凹陷构造沉降速率 5~25 m/Ma,总沉降速率 0~47 m/Ma,沉积速率 10~32 m/Ma;这说明上白垩统沉积期泌阳凹陷略

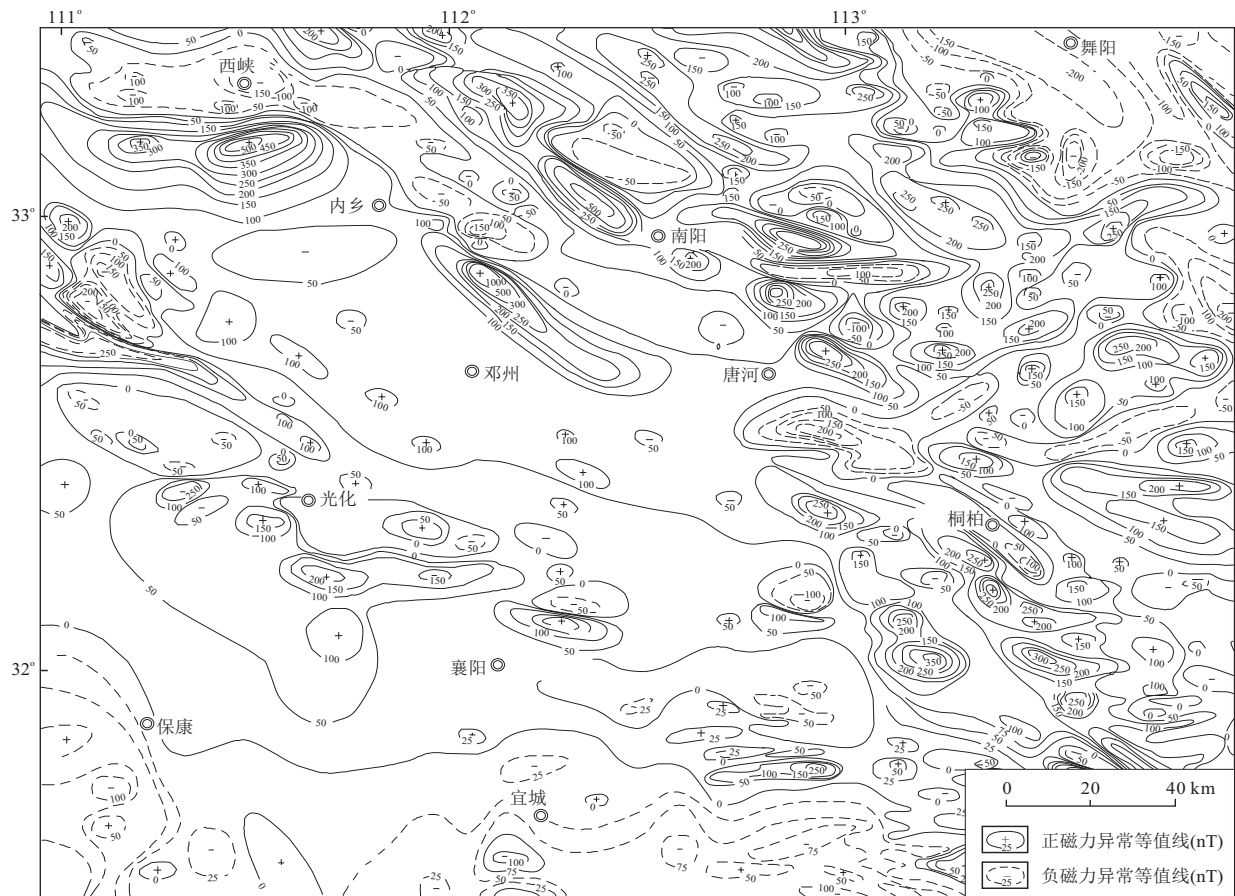
图3 南襄盆地及周缘磁力异常 ΔT_a 平面图

Fig.3 Magnetic anomaly of Nanxiang Basin and its peripheral areas

大于南阳凹陷。古近纪玉皇顶组—大仓房组沉积期 (65~42 Ma), 两凹陷沉降速度加快, 泌阳凹陷构造沉降速率 45~95 m/Ma, 总沉降速率 30~186 m/Ma, 沉积速率 80~145 m/Ma; 南阳凹陷构造沉降速率 51~56 m/Ma, 总沉降速率 10~114 m/Ma, 沉积速率 30~115 m/Ma; 这说明古近纪玉皇顶组—大仓房组沉积期泌阳凹陷大于南阳凹陷。核桃园组沉积期 (42~29.3 Ma) 为两凹陷最大沉降速率期, 沉降曲线呈上凹式, 泌阳凹陷构造沉降速率 30~109 m/Ma, 总沉降速率 40~251 m/Ma, 沉积速率 80~259 m/Ma; 南阳凹陷构造沉降速率 20~72 m/Ma, 总沉降速率 80~214 m/Ma, 沉积速率 80~164 m/Ma; 其中泌阳凹陷最大沉降速率发生在核三段沉积期, 南阳凹陷最大沉降速率发生在核二段沉积期。廖庄组沉积期 (29.3~10.4 Ma) 沉降曲线呈上凸式, 代表受反转挤压应力场影响, 盆地发生差异隆升, 南阳凹陷挤压剥蚀幅度要大于泌阳凹陷。新近纪—第四纪沉积期 (10.4~0 Ma) 两凹陷为拗陷期沉积, 沉降缓慢, 泌阳凹陷构造沉降速率 3~14 m/Ma, 总沉降速率 6~25 m/Ma, 沉积速率 7~20 m/Ma; 南阳凹陷构造沉降速率 22~33 m/Ma, 总沉降速率 30~

48 m/Ma, 沉积速率 25~42 m/Ma (图 4)。

总体而言, 无论是构造沉降速率、沉积速率还是总沉降速率, 泌阳凹陷都大于南阳凹陷, 导致了巨厚的地层沉积; 而在廖庄组末挤压抬升期, 泌阳凹陷的挤压抬升剥蚀又小于南阳凹陷, 导致保存条件更好,

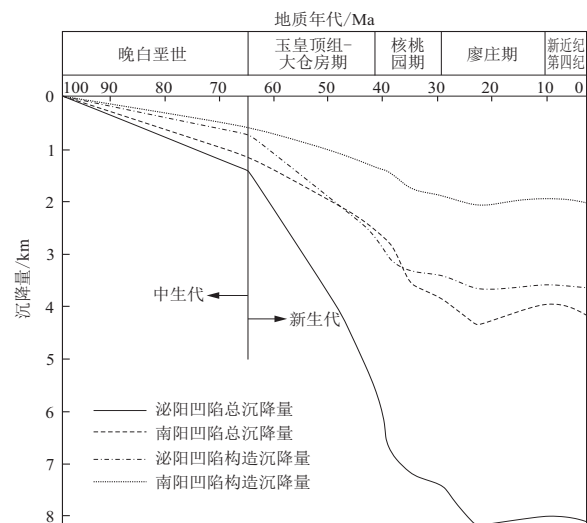


图4 泌阳、南阳凹陷沉降曲线图

Fig.4 Subsidence curve of Biyang Depression and Nanyang Depression

更利于后期油气保存。

2.4 地温特征

南襄盆地地处秦岭—大别褶皱造山带之上,属中深层侵入—塌陷型热力作用成因盆地,地壳发育深部岩浆—热力作用上拱,且现今仍处于上地幔隆起区,广泛发育的深大断裂为岩浆热流侵入浅层提供了通道,因此两凹陷地温梯度较高,具有“热盆”的特征。两凹陷地温有“南低北高”、“古热今冷”的特征:平面上地温梯度和大地热流场均在北部斜坡带最高,在南部陡坡带和中部深凹区较低;地质历史演化过程中从初始裂陷古地温梯度逐渐增大,在主裂陷期达到最大值,裂后拗陷期古地温梯度随之下降,如根据流体包裹体均一温度计算的泌阳凹陷古地温梯度为 $3.06 \sim 9.88$ $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$,远高于现今。

但由于泌阳凹陷边界断裂较南阳凹陷边界断裂倾角陡且切割深度大,沟通热源且有利于热流上涌,因此地温梯度要略大于南阳凹陷。泌阳凹陷地温梯度为 $3.2 \sim 4.8$ $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$,平均 4.1 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$;略高于南阳凹陷单点地温梯度 $3.6 \sim 4.3$ $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$,拟合平均地温梯度 3.9 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。

2.5 烃源岩特征

泌阳凹陷生油中心位于安棚—安店一带,层位主要为核三段,岩性为褐色、褐灰色、黑色页岩、油页岩和灰色泥岩,沉积环境为深水还原—强还原环境;南阳凹陷生油中心分为牛三门和东庄2个次洼,层位为核三段和核二段,岩性以暗色泥岩为主。两凹陷烃源岩条件均比较好,相对而言泌阳凹陷更优,表现在以下6个方面:

(1) 烃源岩类型 泌阳凹陷烃源岩干酪根类型以Ⅰ型和Ⅱa型为主;南阳凹陷烃源岩干酪根类型以Ⅰ型和Ⅱ型为主^[19],质量比泌阳凹陷差,但均属较好烃源岩(图5-a,b)。

(2) 烃源岩有机质丰度 有机质丰度是指烃源岩中有机质富集程度,表征指标有残余有机碳质量分数 $w(\text{TOC})(\%)$ 、氯仿沥青“A”质量分数 $w(\text{A})(\%)$ 、总烃含量 $w(\text{HC})(\%)$ 等。泌阳凹陷核桃园组烃源岩残余有机碳 $w(\text{TOC})$ 主要分布在高于 1.0% 的范围(占总样品数的 72%),平均值 1.77% (图5-c),氯仿沥青“A” $w(\text{A})$ 平均 0.2167% ;相比而言南阳凹陷核桃园组烃源岩较差,残余有机碳质量分数主要分布在 $0.5\% \sim 1.0\%$ 范围内(占总样品数的 45%),平均值 1.02% (图5-c),氯仿沥青“A” $w(\text{A})$ 平均 0.1108% 。

(3) 烃源岩成熟度 泌阳凹陷核三下段烃源岩在 36 Ma 时全部进入生油窗,核一段末期(29 Ma)进入生油高峰阶段;核三上段烃源岩在核二段沉积孔隙度 18.5% ,平均渗透率 355×10^{-3} μm^2 。总体

开始时即进入生油门限,廖庄组沉积末期进入生油高峰阶段。南阳凹陷牛三门次洼核三段在 30 Ma 进入生油阶段,核二段进入生油门限时间为 27 Ma;东庄次洼核三段在 27 Ma 进入生油阶段,核二段进入生油门限时间为 20 Ma。比较而言泌阳凹陷烃源岩成熟时间早于南阳凹陷,现今热演化程度更高^[3-4,13,20]。

(4) 生烃门限 烃源岩中干酪根在埋藏过程中随温度、压力升高逐渐成熟开始大量生烃的深度称为门限深度。由根据泌阳、南阳凹陷烃源岩样品分析结果所作的 $R_o(\%)$ 与深度关系图可知,以 $R_o = 0.5\%$ 为进入生烃门限标准,泌阳凹陷生烃门限深度 $1650 \sim 1700$ m,浅于南阳凹陷生烃门限深度 $1850 \sim 1900$ m(图5-d)。

(5) 烃源岩平面展布与纵向发育特征 泌阳凹陷深凹区核桃园组泥岩垂向厚度最厚 1900 m,累计厚度 3700 m,面积达 635 km^2 ;南阳凹陷核二段泥岩厚度 350 m,核三段泥岩厚度 150 m,累计厚度 2500 m,牛三门次洼和东庄次洼面积达 195 km^2 。比较而言,泌阳凹陷烃源岩分布面积广,厚度大(图5-e,f)。

(6) 烃源岩排烃效率 地质模型分析和生烃模拟结果表明,泌阳凹陷排烃率为 50% ,优于南阳凹陷排烃率(40%)。

2.6 沉积体系

泌阳、南阳两凹陷均发育南北两大物源体系,比较而言,泌阳凹陷砂体展布范围广,纵向厚度大,较南阳凹陷更为有利(图6)。

泌阳凹陷南部物源来自古桐柏山,发育平氏(面积 120 km^2)、长桥、杨桥、桂岸、栗园等扇三角洲沉积体系和梨树凹、下二门、老高店等小型水下冲积锥砂体;北部物源来自古伏牛山和社旗凸起,发育古城(面积 70 km^2)、张厂(面积 65 km^2)曲流河三角洲和王集、侯庄(面积 170 km^2)辫状河三角洲沉积体系^[21-22]。

南阳凹陷物源也分为南北两个方向,但以北部物源为主。在北部斜坡带发育焦店—沙堰(面积 130 km^2)、金华—张店(面积 200 km^2)两个复合三角洲砂体,大致呈朵状、分叉朵状或伸长状向南和西南方向延伸。南缘的新野低凸起向湖一侧不发育大型扇三角洲沉积,仅形成北马庄、黑龙庙等小型近岸水下冲积锥砂体^[23-24]。

2.7 储层物性

泌阳凹陷核桃园组储层孔渗性能好,但由于凹陷沉积体系多样,成岩作用程度差异,导致非均质性严重,孔隙度最高 48% ,最低 0.19% ,渗透率最高 17600×10^{-3} μm^2 ,最低 1×10^{-3} μm^2 ,全凹陷平均而言,北部斜坡带砂体埋藏深度较浅,成岩作用弱,

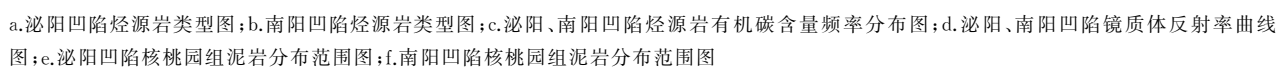
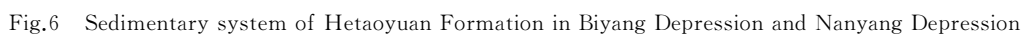


Fig.5 Characteristics of hydrocarbon source rocks of Hetaoyuan Formation in Biyang Depression and Nanyang Depression



后期受构造抬升作用遭受剥蚀淋滤,使岩石疏松,孔渗性能好(表 1)。

南阳凹陷南部砂体具近源快速堆积的特点,分选差,埋藏深,成岩作用强,岩性致密,孔渗性能较

差,储层孔隙度 6.98%,渗透率 $13\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ^[24-25];北部三角洲砂体埋藏浅,成岩作用弱,储集性能好,北部储层孔隙度 10%~25%,渗透率大于 $10\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ (表 1)。

表 1 泌阳凹陷和南阳凹陷各油田储层孔渗性能统计

Table 1 Statistics of reservoir porosity and permeability in Biyang Depression and Nanyang Depression									
泌阳凹陷油田名称	井楼	古城	付湾	杨楼	新庄	下二门	双河	王集	赵凹
平均孔隙度/%	23.9	22.6	19.7	23.8	20.2	19.4	17.7	12.4	9.7
平均渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$	811	488	792	540	632	1 411	497	364	70
南阳凹陷油田名称	魏岗	官庄	张店	白秋	马店	北马庄	黑龙庙	东庄	
平均孔隙度/%	17.8	15.1	13.6	21.4	11.2	12.1	6.9	15	
平均渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$	491	229	157	621	44	32	13	28	

与泌阳凹陷相比,南阳凹陷储层因母岩云母含量高,沉积分选差,后期成岩碳酸盐化作用强等原因,导致孔渗性能差,劣于泌阳凹陷。

2.8 生储盖配置

泌阳凹陷烃源岩、储集层、盖层横、纵向配置理想。平面上,南北物源砂体环绕生油区呈环带状分布,呈指状伸入生油区内,与烃源岩大面积接触。纵向上,生、储、盖层呈指状交错,砂泥岩间互沉积,生油岩厚度多为 20~30 m,有利于排烃,形成多套有效生储盖组合。在核三段顶部至核二段底部,发育 100~200 m 厚的、以泥岩为主的区域性盖层;在各油组顶部,皆有数十米厚的泥岩段为局部性盖层,对油气封盖作用理想。

南阳凹陷生、储、盖配置情况相比泌阳凹陷较差。厚度大于 30 m 的烃源岩主要分布于牛三门和

东庄两次注中部,两个生油次注的储层砂体由张店—金华复合三角洲、焦店—沙堰复合三角洲前缘相远砂坝、席状砂和前三角洲相组成,储层单层厚度较小(2~4 m),地层中砂岩占比均小于 20%,使烃源岩中生成的油气难以充分排运出去,油气初次运移条件较差。在北部斜坡内带,三角洲砂体的砂岩占比大于 30%,砂岩单层厚度大于 10 m,孔渗性能好。但烃源岩有机质丰度低,油源条件差,而南部油气最大运移距离 15 km,一般 10~12 km,最佳运移距离小于 10 km,难以到达该地区。因此,烃源岩与储集层平面叠置差,纵向接触不充分,严重制约了油气藏的形成,形成的油气藏充满度也不高,单井产量低。

2.9 油气藏类型

在兼顾圈闭成因和有效指导区域油气勘探的基

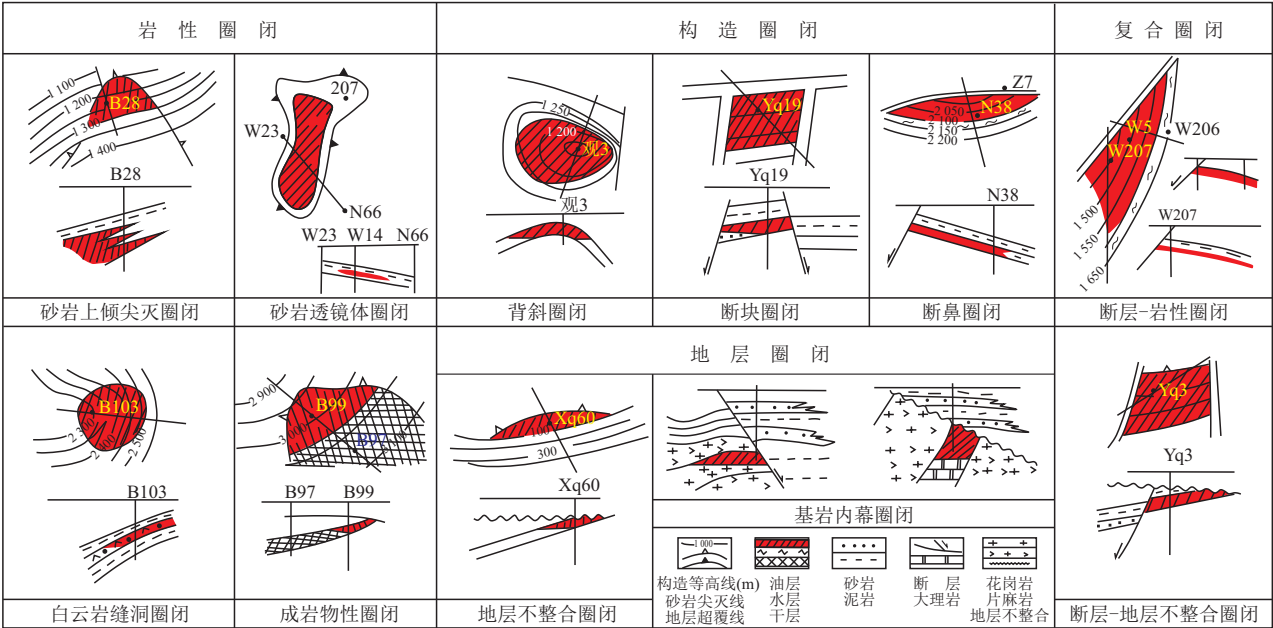


图 7 泌阳、南阳凹陷圈闭类型示意图
Fig.7 Trapping styles between Biyang Depression and Nanyang Depression

基础上,将泌阳、南阳凹陷的圈闭类型划分为 4 类 11 种(图 7),4 类分别为岩性圈闭、构造圈闭、复合圈闭和地层圈闭。其中岩性圈闭有砂岩上倾尖灭圈闭、砂岩透镜体圈闭、白云岩缝洞圈闭、成岩物性圈闭;构造圈闭有背斜圈闭、断块圈闭和断鼻圈闭;地层圈闭有地层不整合圈闭、基岩内幕圈闭;复合圈闭有断层—岩性圈闭、断层—地层不整合圈闭。

泌阳凹陷沉积盖层断裂主要发育在北部斜坡带,以北东向为主,形成于古近纪廖庄组沉积末期。南部陡坡带和中部深凹区断层不发育。因此,在泌阳凹陷中南部地区,双河、赵凹等大型鼻状构造或单斜构造与平氏、栗园等扇三角洲砂体配置形成砂岩上倾尖灭圈闭或侧缘尖灭圈闭^[26],平面规模大,纵向闭合度高,充注的油气储量占泌阳凹陷总储量的 60% 以上。

南阳凹陷断裂较泌阳凹陷更为发育,断层多期发育,切割鼻状构造或单斜构造,形成断鼻、断块和断背斜圈闭,构造破碎,圈闭面积小。南阳凹陷的主力油田魏岗油田、张店油田、东庄油田即分别属于这

3 种圈闭类型。

因此泌阳凹陷在圈闭类型上要优于南阳凹陷。

2.10 油气成藏期次及模式

泌阳凹陷和南阳凹陷的油气成藏期次均具有两期充注、晚期成藏的特征:第一期为断陷—抬升期低—中成熟油成藏期,时间为 36.1~16.2 Ma;第二期为坳陷期中—高成熟油成藏期,时间为 7.9~0.2 Ma^[3,27-32]。多期幕式成藏的动力学基础是构造的周期性活动和断层的多期调节^[1]。

两凹陷在输导体系、圈闭类型上的差异,导致成藏模式的不同^[33]。泌阳凹陷中南部地区,由于断层不发育,为砂体单因素输导体系;泌阳凹陷北部斜坡带和南阳凹陷,由于断层破碎,切割砂体,为断层+砂体复合输导体系。输导体系和圈闭发育时间的差异,导致两凹陷代表性成藏模式(图 8)存在不同。

泌阳凹陷双河油田油气以油组为单位沿砂体大规模侧向充注成藏,多期运移充注,晚期定型^[28,34-35]。下二门油田为早期沿砂体侧向运移、晚期断层垂向调整成藏^[36]。泌阳凹陷北部斜坡带的王

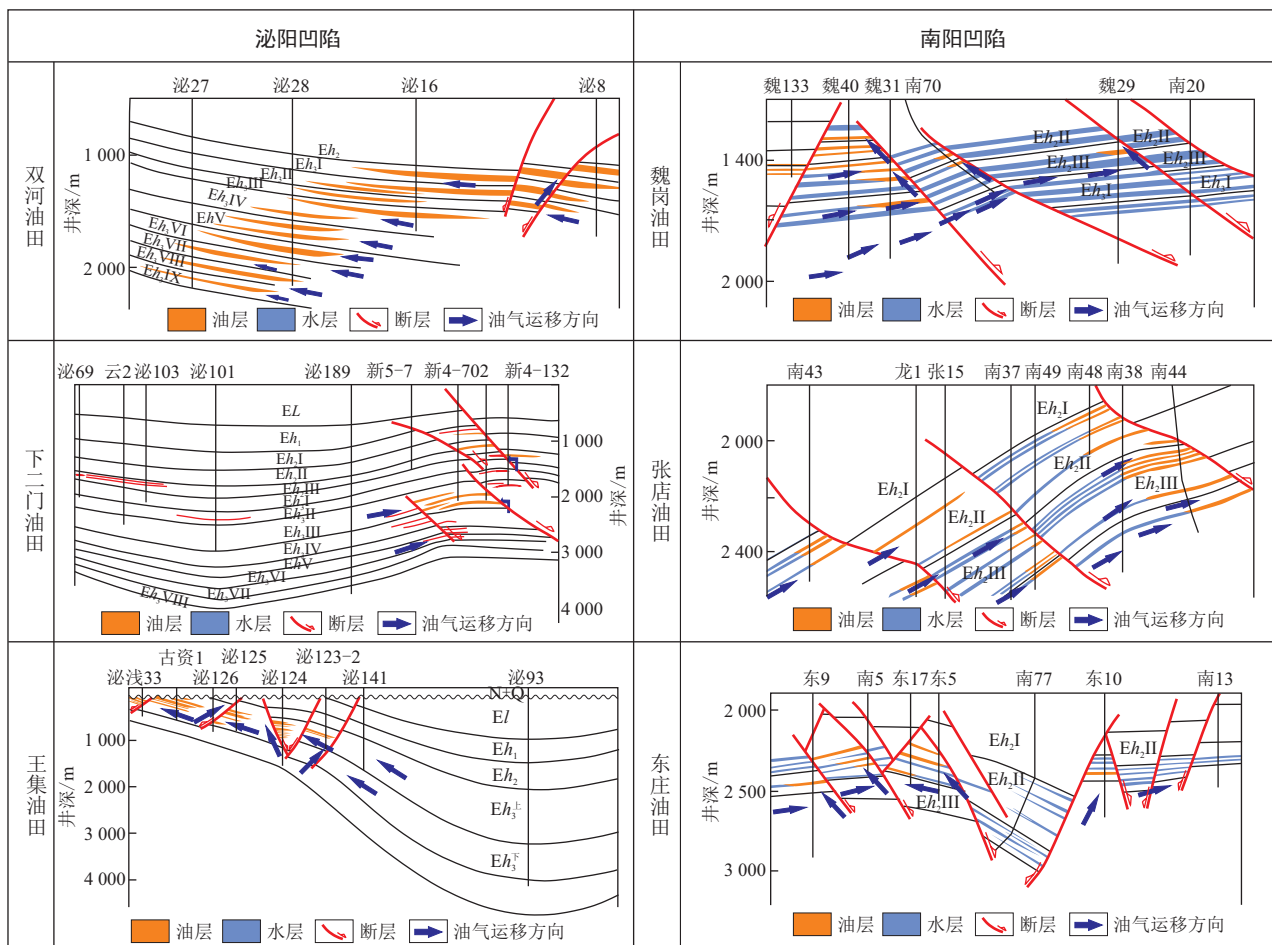


图 8 泌阳、南阳凹陷油气成藏模式对比图(Eh, 核桃园组; EL, 廖庄组; Eh₂I~Eh₃Ⅷ, 油组编号)

Fig.8 Oil and gas accumulation models between Biyang Depression and Nanyang Depression

集、新庄、古城油田和南阳凹陷的魏岗、张店、东庄油

田则为砂体+断层接力运移,晚期成藏的断鼻、断块

成藏模式,即油气沿砂体侧向运移,遇断层视断层封闭性发生垂向运移或穿断层运移的模式。总体而言,由于砂体侧向输导不发生垂向逸散,使泌阳凹陷油气成藏效率高于南阳凹陷。

3 勘探启示

南阳凹陷虽较泌阳凹陷油气富集程度差,但资源探明率低(仅30%),只要对凹陷油气地质特征进行深入分析,创新地质认识,则仍具有较大勘探潜力。

平面上,与泌阳凹陷相比烃源岩不足是制约南阳凹陷油气富集的重要因素,因此需要开展系统的区域评价,寻找新的生烃区带,重新认识“深层时代较古老的烃源岩对油气生成的贡献”。除目前普遍认同的古近系核桃园组烃源岩外,邓州凹陷邓参1井钻遇3 271 m厚的上白垩统地层,揭示了一个完整的滨湖亚相—浅湖亚相—较深湖亚相—滨湖亚相的沉积旋回,其中较深湖亚相暗色泥岩集中发育。在南阳凹陷的焦店地区,发育具左行剪切平移性质的基底走滑断裂,形成了近东西向展布的上白垩统沉积中心,埋藏深,热演化时间长,可能具有生烃能力;且该地区位于焦店—沙堰复合三角洲沉积区,砂体发育,生储配置好,利于油气近源成藏。南阳凹陷北部的桐寨铺地区,发育近北西—南东向展布的禹桐断裂,基于重磁异常特征分析表明其和泌阳凹陷北西向控凹断裂唐河—栗园断裂具有同源性,均属于西峡—内乡—桐柏断裂的一部分^[37-38]。唐河—栗园断裂断面较陡,在核三段沉积期活动强烈,控制形成了埋藏深且沉积厚度大的深凹区,为泌阳凹陷丰富的油气资源提供了物质基础;具有同源性的禹桐断裂,能否控制形成这样的生烃凹陷,这一问题同样值得思索。

层位上,南阳凹陷目前探明的地质储量主要分布在浅层核二段,深层核三段探明程度低。核三段是南阳凹陷主要烃源岩发育段,资源量 0.57×10^8 t,占凹陷总量的59%,根据成烃成藏研究成果,即使考虑到油气纵向运移,目前核三段仅探明 410.38×10^4 t,也与资源量不相匹配,表明深层核三段仍然有较大的勘探潜力。

油藏类型上,泌阳凹陷在基岩油藏、小型砂砾岩体油藏、断层+岩性油藏、页岩油上都取得了突破,这些都是以构造油藏勘探为主的南阳凹陷值得借鉴的。南阳凹陷南部陡坡带位于牛三门次洼和东庄次洼南部,紧邻生烃中心,油源充足,是有利的油气勘探区。该地区与泌阳凹陷南部陡坡带相比,缺乏大规模扇三角洲发育,但由于边界断裂的多段连锁发

育,在断裂结合部发育多个冲积锥砂体,与烃源岩接触充分,有望发现像泌阳凹陷泌304区块那样的高丰度砂砾岩油藏。

泌阳凹陷中部深凹区的泌页HF1井,试采日产油 23.6 m^3 、日产气 $1\,000 \text{ m}^3$;泌页HF2井,试采日产油 28.1 m^3 ,取得了中国大陆相页岩油勘探的重要突破。南阳凹陷的牛三门和东庄次洼,在古近系核桃园组 Eh_2 II、 Eh_2 III、 Eh_3 I、 Eh_3 II油组发育4套富含有机质页岩层,面积 $167 \sim 195 \text{ km}^2$,厚度 $60 \sim 75 \text{ m}$,泥地比 $>60\%$,气测异常明显,有机质丰度高(平均 $w(\text{TOC}) > 1\%$,平均氯仿沥青 $w(A) > 0.09\%$),热演化适中(R_o 为 $0.5\% \sim 1.1\%$),埋藏深度适中,均小于 $3\,500 \text{ m}$,与泌阳凹陷页岩层性质可对比,具较好的页岩油勘探前景。尤其是牛三门次洼,烃源岩热演化程度较东庄次洼更高,且由于北部金华—张店复合三角洲砂体在该地区不发育,烃源岩生成的油气未大量排出,更是南阳凹陷页岩油气突破的首选。

在北部斜坡带,张店—金华三角洲砂体向魏岗鼻状构造东翼延伸,受物源供给量影响,在鼻状构造高部位存在岩性干带、尖灭带,且被多组断裂切割,舌状砂体与断层配置,因此魏岗油田两翼是断层—岩性圈闭发育的有利区带。

4 结 论

(1)基于大地构造学、盆地分析表明,泌阳、南阳两凹陷在大地构造背景、构造演化阶段、凹陷平面形态、地层系统等方面具相似性。

(2)两凹陷基底性质的差异导致了控凹边界断裂形态的差异,决定了两凹陷在沉降、地温、沉积体系等盆地特征和生储盖等油气地质要素以及圈运保等油气成藏作用上的不同,使泌阳凹陷较南阳凹陷油气更为富集。

(3)烃源岩相对不足、生储配置较差、圈闭破碎,是制约南阳凹陷油气勘探的重要原因,但南阳凹陷勘探程度相对较低,只要借鉴泌阳凹陷的成功经验,创新地质认识,开展生烃潜力再认识,配套勘探关键技术,开展多层系、多类型立体勘探,仍具有较大勘探潜力。

成文过程得到了河南油田研究院付江娜、罗曦高级工程师、肖湘工程师的帮助,在此表示诚挚的感谢!

参考文献:

- [1] 夏东领,杨道庆,林社卿,等.南襄盆地中新代构造演化与油气成藏[J].石油地质与采收率,2007,14(6):32-34.
- [2] 蔡佳,王华,罗家群.基于层序地层格架的南阳凹陷油气成藏模式[J].西南石油大学学报:自然科学版,2011,33(3):67-73.

- [3] 程喆. 泌阳凹陷成藏动力学系统研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007.
- [4] 翟中喜, 陆建林, 胡望水, 等. 泌阳凹陷新生代构造控油规律研究[J]. 石油天然气学报: 江汉石油学院学报, 2010, 32(3): 43-58.
- [5] 何登发, 李德生, 何金友, 等. 塔里木盆地库车坳陷和西南坳陷油气地质特征类比及勘探启示[J]. 石油学报, 2013, 34(2): 201-218.
- [6] Meng Q R, Zhang G W. Geologic framework and tectonic evolution of the Qinling Orogen, central China[J]. Tectonophysics, 2000, 323: 183-196.
- [7] Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, et al. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie Orogen, China[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1998, 161(1/4): 215-230.
- [8] Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, et al. Exhumation of ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Late Triassic-Early Jurassic tectonic unroofing[J]. Journal of Geophysical Research, 2000, 105(B6): 13339-13364.
- [9] Ye K, Cong B L, Ye D L. The possible subduction of continental material to depths greater than 200 km[J]. Nature, 2000, 407: 734-736.
- [10] Liu X W, Jin Z M, Green H W II. Clinopyroxene exsolution in diopsidic augite of Dabieshan: Garnet peridotite from depth of 300 km[J]. The American Mineralogist, 2007, 92(4): 546-552.
- [11] 潘作枢, 丁凤仪, 王宝林. 南襄盆地深部过程分析及重磁异常[J]. 西安地质学院学报, 1986, 8(1): 56-62.
- [12] 卢顺荣, 温长顺, 许顺山. 南阳凹陷构造模拟实验及其成因机制的探讨[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 1989, 14(增刊): 97-105.
- [13] 李连生. 泌阳凹陷结构构造与油气成藏[J]. 石油天然气学报: 江汉石油学院学报, 2007, 29(3): 344-346.
- [14] 王定一, 车自成, 张树田, 等. 南襄盆地构造发育特征及形成机制[J]. 石油与天然气地质, 1987, 8(4): 363-371.
- [15] 罗开平, 范小林. 南襄盆地岩石圈构造与盆地深部过程及油气前景[J]. 石油天然气学报, 2006, 28(3): 167-170.
- [16] 田纳新, 吴官生, 李锋, 等. 南襄盆地南阳凹陷构造特征与油气聚集[J]. 石油天然气学报, 2008, 30(6): 51-55.
- [17] Zhang G W, Meng Q R, Yu Z P, et al. Orogenesis and dynamics of the Qinling orogen[J]. Science in China: Series D, 1996, 39(3): 225-234.
- [18] 夏东领, 胡望水. 南襄盆地中、新生代构造沉降史分析与构造演化[J]. 石油天然气学报: 江汉石油学院学报, 2010, 32(1): 17-21.
- [19] 吕久明. 南襄盆地南阳凹陷烃源岩再认识与资源潜力[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(3): 392-398.
- [20] 孙冲. 复杂断块油田成藏控制因素-以泌阳凹陷北部斜坡带为例[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2006.
- [21] 邱荣华. 泌阳富油凹陷北部斜坡带浅层复杂断块群油气勘探[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 813-840.
- [22] 吴群, 朱颜, 王树芳, 等. 泌阳凹陷张厂地区 E_2h_3 IV 砂组滩坝砂沉积学特征及勘探意义[J]. 地质科技情报, 2014, 33(1): 19-23.
- [23] 程学峰, 于群达, 吴跃通, 等. 层序地层学研究及隐蔽油气藏预测-以南阳凹陷古近系为例[J]. 新疆地质, 2003, 21(2): 206-209.
- [24] 朱军, 张本书, 赵天富, 等. 近岸水下冲积扇储层特征研究: 以南阳凹陷北马庄-黑龙庙地区为例[J]. 石油天然气学报, 2008, 30(5): 48-55.
- [25] 李海燕. 南阳凹陷古近系核桃园组沉积微相研究[J]. 沉积与特提斯地质, 2008, 28(4): 44-49.
- [26] 马义权, 刘晓峰, 李晓娜, 等. 泌阳凹陷王集油田核桃园组三段沉积演化[J]. 地质科技情报, 2014, 33(1): 115-120.
- [27] 秦伟军, 林社卿, 程喆, 等. 南襄盆地泌阳凹陷油气成藏作用及成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 668-673.
- [28] 邱荣华, 林社卿, 涂阳发. 泌阳凹陷油气成藏特征及勘探潜力分析[J]. 石油天然气学报: 江汉石油学院学报, 2005, 27(2): 158-161.
- [29] 史忠生, 何生. 南阳凹陷古近系核桃园组二段储集层流体包裹体[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(6): 682-686.
- [30] 程学峰. 南阳凹陷核桃园组油气成藏规律研究与勘探潜力分析[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2008.
- [31] 曾庆才. 南阳凹陷油气成藏规律及勘探目标评价[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2008.
- [32] 罗家群, 蒲洪果, 李丽娟, 等. 泌阳凹陷梨树凹区块油气成藏期次与成藏过程[J]. 地质科技情报, 2017, 36(3): 118-121.
- [33] 林社卿, 杨道庆, 夏东领, 等. 泌阳凹陷油气运移输导体系特征及意义[J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(4): 16-21.
- [34] 尹伟, 吴胜和, 林社卿. 双河油田油气成藏机理研究[J]. 石油学报, 2003, 24(5): 40-45.
- [35] 夏东领, 尹伟, 李治. 南襄盆地泌阳凹陷南部陡坡带油气成藏过程分析[J]. 石油实验地质, 2010, 32(3): 247-256.
- [36] 程喆, 田世澄, 曾小阳, 等. 泌阳凹陷下二门油田油气成藏机理研究[J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 346-352.
- [37] 万能, 李书涛, 曾明中. 滤波技术在武当-桐柏-大别成矿带地球化学异常提取中的应用[J]. 地质科技情报, 2015, 34(2): 15-19.
- [38] 万卫, 汪明启, 谭杰. 东秦岭斑岩型钼矿成矿带地质-地球化学找矿模式[J]. 地质科技情报, 2018, 37(4): 30-38.