

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.228

引用格式: 王丹丹,刘旭锋,张交东,等. 河南三门峡盆地古近系构造沉积特征及油气勘探潜力[J]. 中国地质调查,2025,12(1): 17-28. (Wang D D,Liu X F,Zhang J D,et al. Structural sedimentary characteristics and oil & gas exploration potentials of Paleogene System in Sanmenxia basin of Henan Province[J]. Geological Survey of China,2025,12(1): 17-28.)

河南三门峡盆地古近系构造沉积特征及 油气勘探潜力

王丹丹^{1,2,3}, 刘旭锋^{1,2,3*}, 张交东^{1,2,3}, 曾秋楠^{1,2,3}, 刘亚雷^{1,2,3},
白忠凯^{1,2,3}, 高永进^{1,2,3}, 张远银^{1,2,3}

(1. 中国地质调查局油气资源调查中心,北京 100083; 2. 中国地质调查局非常规油气地质重点实验室,北京 100083; 3. 多资源协同陆相页岩油绿色开采全国重点实验室,北京 100083)

摘要: 为了查明三门峡盆地的构造演化、古近系沉积特征及油气地质条件,依据二维地震解释、钻井测井、露头、实验数据等资料,对三门峡盆地构造演化、断层发育和沉积相特征进行研究,并探讨其油气勘探潜力。结果表明,三门峡盆地发育3个活动期次的正断层:第一期断裂为形成于燕山运动末期的控盆断裂;第二期断裂为形成于喜山期的盆内控凸、控凹断裂;第三期断裂为形成于更新世的盆内调节断层。三门峡盆地经历了5个演化阶段:前寒武纪变质基底和坳陷槽形成阶段、古生代海侵及造山阶段、中生代地堑式断陷盆地形成阶段、古近纪断陷盆地发展阶段和盆地定型阶段。通过分析共识别出冲积扇相、曲流河相、三角洲相和湖相4种沉积相以及9种沉积亚相和15种沉积微相。古近系小安组暗色泥岩有机碳含量平均值为2.7%,具有较好的生烃物质基础,镜质体反射率分布范围为0.7%~1.1%,烃源岩进入主力生烃阶段,有机质类型以II型为主,部分为III型,综合评价为中—好烃源岩;三角洲相、冲积扇相砂岩为储层发育奠定基础,平均孔隙度为19.79%,渗透率分布范围为 $(5 \sim 150) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为中孔—中低渗储层,物性较好;发育“下生上储、自生自储”生储盖组合,推测发育“新生古储”的生储盖组合,具备油气形成和富集的物质基础和地质条件,豫陕地1井钻获工业油流,进一步证实了三门峡盆地具有一定的油气勘探潜力。

关键词: 豫西地区; 三门峡盆地; 古近系; 沉积相; 构造演化; 成藏条件

中图分类号: P618.13

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2025)01-0017-12

0 引言

随着大型盆地及断陷深层油气勘探难度增大,中小型断陷盆地逐渐成为油气勘探重点^[1-2]。三门峡盆地是一个发育于豫西断隆北缘的中—新生代中小型断陷盆地^[3],位于晋、豫、陕三省交界地带,大体呈EW向展布,东段略向NE偏转,南北宽20~40 km,东西长约130 km,面积约4 500 km²,内部发育5个凹陷和2个构造带^[4]。该盆地油气勘探程度非常低^[3,5-6],前人研究主要集中在古近系

岩石构成及地层展布等方面,盆地的构造演化和沉积特征研究较少,特别是缺少沉积相特征方面的研究。近年来,在五亩、灵宝地区发现古近系烃源岩,并有某公司部署的HW1地热井在古近系钻遇良好的油气显示,指示较好的油气勘探前景。作者所在单位相继开展了广域电磁勘探、时频电磁勘探、二维地震精细解释、钻井等工作,为研究该盆地的构造和沉积特征提供了第一手基础资料。本文结合二维地震、非震、钻井、露头、实验测试分析等数据,开展三门峡盆地构造、沉积相特征研究,明确盆地演化规律和沉积相展布特征,旨在为三门峡盆地后

收稿日期: 2024-06-06; 修订日期: 2024-07-29。

基金项目: 中国地质调查局“南华北盆地上古生界油气地质调查(编号: DD20190095)”和中国石油化工股份有限公司华北油气分公司科技项目“豫西重点地区构造特征及有利区优选(编号: 3450000-21-FW0399-0002)”联合资助。

第一作者简介: 王丹丹(1982—),女,正高级工程师,主要从事油气地质综合研究方面的工作。Email: ddwangen@163.com。

通信作者简介: 刘旭锋(1990—),男,高级工程师,主要从事石油地质研究工作。Email: xf-liu23@foxmail.com。

续油气勘探和潜力评价工作提供理论依据。

1 区域地质特征

三门峡盆地现今大地构造位置位于中国大陆中部 NNE 向隆起带与近 EW 向构造带交接处^[7-9],即位于中条山断块、小秦岭断块和崤山断块的交叉复合部位^[10-11](图 1)。受秦岭板块、华北板块、扬子板块相互俯冲碰撞作用影响,构造活

动剧烈,断裂发育,构造演化较为复杂。三门峡盆地是叠合在海相盆地之上的燕山期陆相断陷盆地。该区域在早古生代是一个广阔的陆表海沉积环境,沉积了寒武纪、奥陶纪的碳酸盐岩地层^[12],缺失志留系;晚古生代沉积环境向海陆过渡相转变,沉积了一套以砂泥岩、灰岩为主,夹煤层的石炭系—二叠系,后期由于构造抬升,部分地区被剥蚀;中—新生代由于华北地台的活化,导致古生界受到强烈改造,形成了中—新生代的断陷盆地^[13-19]。

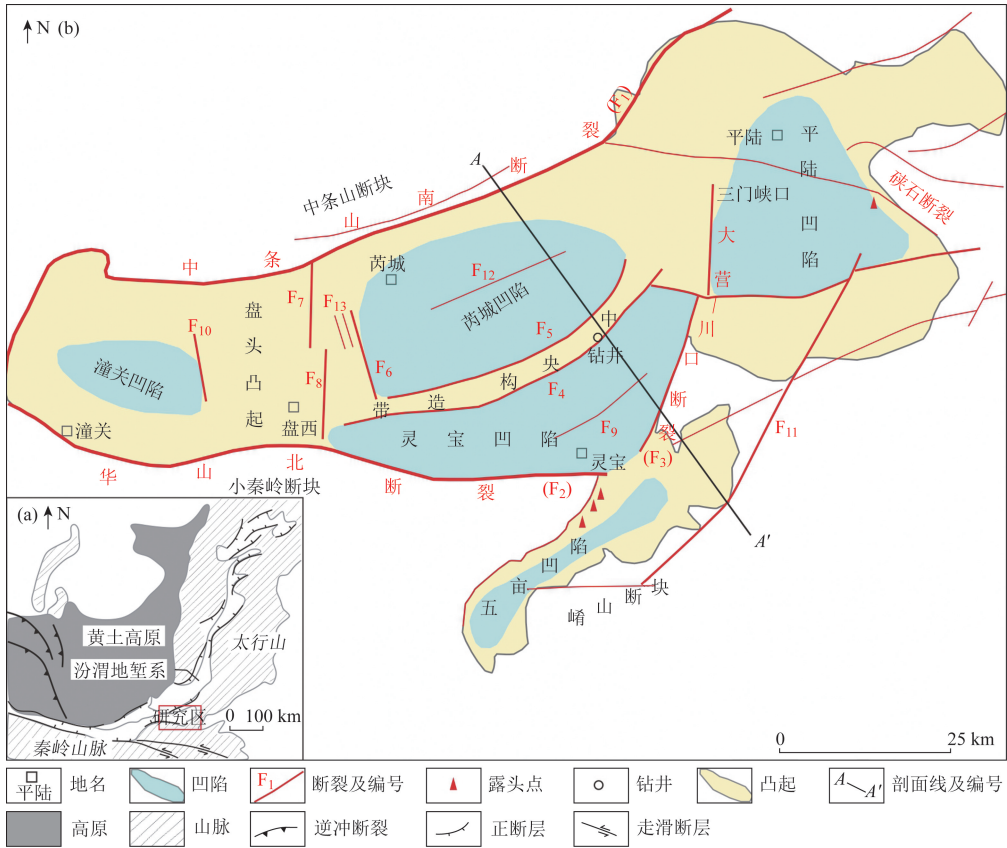


图 1 研究区构造单元划分(a)和断裂分布图(b)^[4]

Fig.1 Structural unit division (a) and fault distribution (b) in the study area^[4]

三门峡盆地前寒武系基底是太古界、元古界结晶变质岩系,沉积盖层自下而上发育寒武系、奥陶系、石炭系—二叠系,其后进入三门峡陆相断陷盆地发展阶段,发育了白垩系、古近系、新近系和第四系等沉积盖层^[3-4]。前期研究认为:三门峡盆地古近系最大埋深可达 6 000 m,最大厚度达 3 500 m,自下而上发育古近系门里组、坡底组、小安组、柳林河组,古近系各层之间为整合接触。

2 盆地构造及演化特征

2.1 盆地断裂及分布特征

断裂活动是盆地形成与演化的主要控制因

素之一^[20-22],在油气成藏过程中亦具有重要作用^[23]。研究区及周缘断裂活动频繁,通过非震资料、结合二维地震解释,明确了三门峡盆地发育一级断裂 2 条,二级断裂 8 条,三级断裂 3 条(图 1,图 2)。

一级断裂为燕山期形成的中条山南断裂(F_1)和华山北断裂(F_2),此类断裂为控盆断裂,控制着三门峡盆地的形成和演化。其中,华山北断裂(F_2)也称文底—宫前断裂^[24],是华山与三门峡南部的分界断裂,总体走向近 EW 向,研究区内长约 70 km,平面上呈缓波状延伸,为一基底断裂。断层总体倾向近北向,断层倾角 $45^{\circ} \sim 70^{\circ}$,断裂南为燕山期或太华群的基岩,断裂北为潼关黄土台塬,断层三角面及

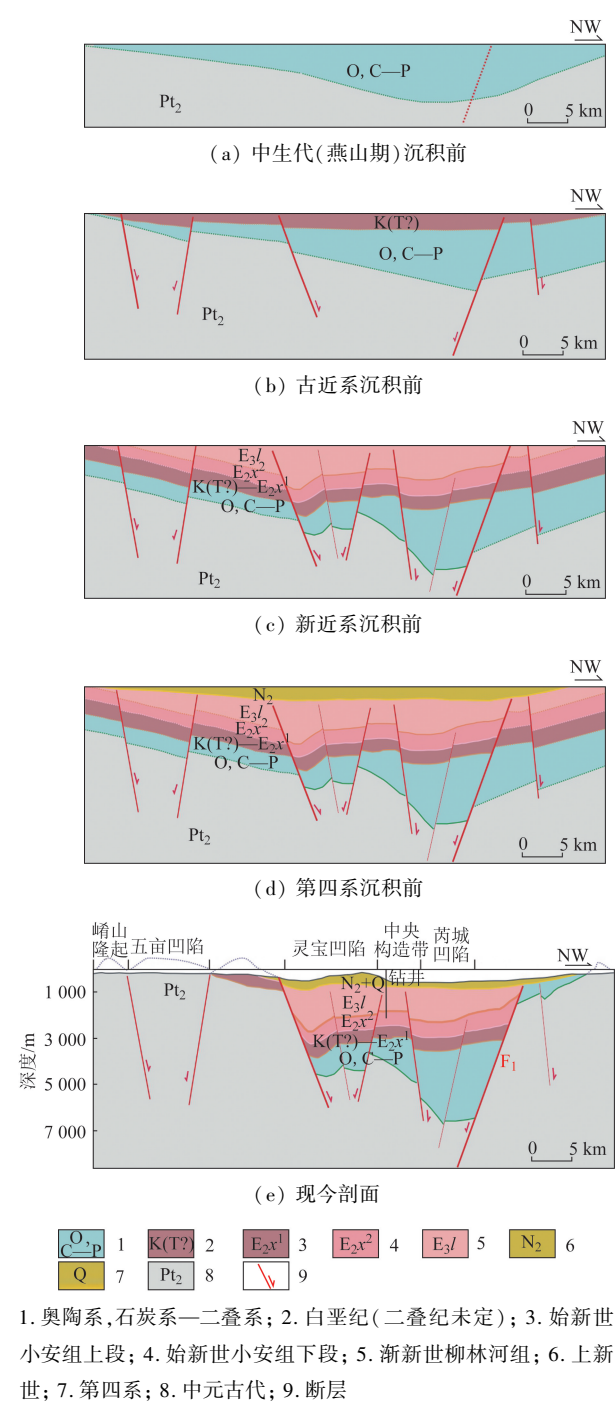


图 2 三门峡盆地构造演化模式(剖面位置见图 1 AA')

Fig.2 Tectonic evolution model of Sanmenxia basin (The profile position is shown in Fig.1. AA')

断层崖清晰可见,曲志成等^[24]认为该断裂的最新活动时代为晚更新世,与杜建军等^[25]认为其在中更新世曾有过剧烈活动的认识一致。中条山南断裂(F_1)总体走向 NEE,长约 143 km,倾向南南东,为灵宝凹陷与中条山隆起的边界断裂,有资料显示,该断裂至少断错了更新统中上阶,在申家山附近可见该断裂切割了更新

统下部砂砾岩地层,且上覆更新统上部黄土^[26],推测该断裂最新活动时代为更新世晚期早阶段。

二级断裂为喜山期断陷盆地发展阶段形成的 大营—川口断裂(F_3)、枣林镇断裂(F_4)、老庄断裂(F_5)、文乡断裂(F_6)、南张村北断裂(F_7)、南张村断裂(F_8)、潼关东断裂(F_{10})、崤山断裂(F_{11}),为控制盆地内部凸起和凹陷分布的盆内正断层(图 1)。

三级断裂为更新世形成的阳店断裂(F_9)、芮城断裂(F_{12})、文乡东断裂(F_{13}),该期断裂为正断层,调节盆地内部凸起和凹陷的分布和定型。

2.2 盆地构造演化

本文在前期研究的基础上^[4],结合区内联合部署的二维地震测线解释^[27],细化了古近纪以来的构造演化历程,综合认为三门峡地区构造演化可分为 5 个演化阶段(图 2)。

(1)前寒武纪变质基底及拗陷槽形成阶段。三门峡盆地前寒武系结晶基底是以汝阳群为代表的太古界和元古界的古大陆变质岩系,是一套基性—中基性—中酸性火山岩与碎屑沉积岩建造,局部地区混合岩化强烈。受吕梁运动影响,中—新元古代在 SN 向压应力作用下,该地区逐渐演变成 EW 向构造带中的一个拗陷槽,沉积了一套中基性—中酸性火山岩,研究区内主要以熊耳群为代表。

(2)古生代海侵及造山阶段(图 2(a))。早古生代初期,受华北地台大面积下沉影响,三门峡区域持续沉降接受沉积。此时,海水自东向西侵入,逐渐形成一个浅海盆地,沉积了一套以碳酸盐岩为主的早古生代海相地层。受加里东运动影响,盆地地层抬升并遭受剥蚀,上奥陶统一下石炭统几乎剥蚀殆尽,到中石炭世再次沉降接受沉积。海西运动末期,强烈构造运动使该区发生了剧烈的造山运动,导致古生界发生了较大规模的褶皱变形,原先的拗陷槽逐渐演变成较为宽缓的向斜,即黄河向斜构造。

(3)中生代地堑式断陷盆地形成阶段(图 2(b))。中生代受燕山运动影响,黄河向斜构造的两翼及东部地区发生岩浆岩侵入。燕山运动形成了断块体制,使华北地台豫西断隆出现。研究区地层遭受抬升剥蚀,下三叠统、下侏罗统剥蚀殆尽,古生界和白垩系部分遭受剥蚀。随着燕山运动后期构造活动的增强,向斜的两翼被华山北断裂(F_2)、中条山南缘断裂(F_1)切断,地堑式断陷

盆地的雏形始现。

(4) 古近纪断陷盆地发展阶段(图 2(c),(d))。喜马拉雅运动早期,盆地南北两侧的华山北断裂(F_2)、中条山南缘断裂(F_1)持续活动,受拉张环境的影响,地堑区相对下降接受沉积,自下而上沉积了门里组、坡底组、小安组 and 柳林河组等古近系。此时,三门峡盆地逐渐演变为一个南、北、东三面隆起的半封闭式内陆湖盆。此阶段亦为三门峡盆地主要断陷发展阶段。该阶段,盆地内部二级断裂较为发育,形成了堑垒构造,为研究区第二期正断层,亦是控制盆地内部凸起和凹陷分布的盆内断裂(图 1,图 2(e))。渐新世,由于地层轻度抬升,盆地东南部 NE 向的 F_3 断裂(大营—川口断裂)与先期形成的控盆断裂 F_1 、 F_2 斜交,进而演变成一个三角形的断陷盆地。渐新世晚期,由于崤山次隆的隆升使盆地西部抬升,导致盆地西部的柳林河组遭受一定程度的剥蚀,但剥蚀程度较小,先期沉积的古近系得以保存。

(5) 盆地定型阶段(图 2(e))。新近纪晚期盆

地逐渐演变为伸展期,继续接受沉积,沉积了一套新近系。更新世,由于受盆地南北两侧控盆断裂 F_1 、 F_2 活动的影响,三门峡盆地内部形成了 F_9 、 F_{12} 、 F_{13} ,这些断层为调节盆地内部凸起和凹陷分布的第三期断层(图 1,图 2(e))。此后,盆地相对下降沉积了更新统和全新统,三门峡盆地最终定型。

3 沉积充填及沉积相展布特征

3.1 沉积相类型

通过野外地质调查、剖面实测,结合测井资料解释,识别出三门峡盆地古近系曲流河相、三角洲相、冲积扇相和湖相 4 种沉积相,以及 9 种沉积亚相和 15 种沉积微相。

(1) 曲流河相。曲流河相发育于盆地边缘,该沉积相在野外露头中可见(图 3)。按照沉积相特征,研究区内曲流河相可划分出堤岸亚相、河床亚相和河漫亚相 3 个沉积亚相。

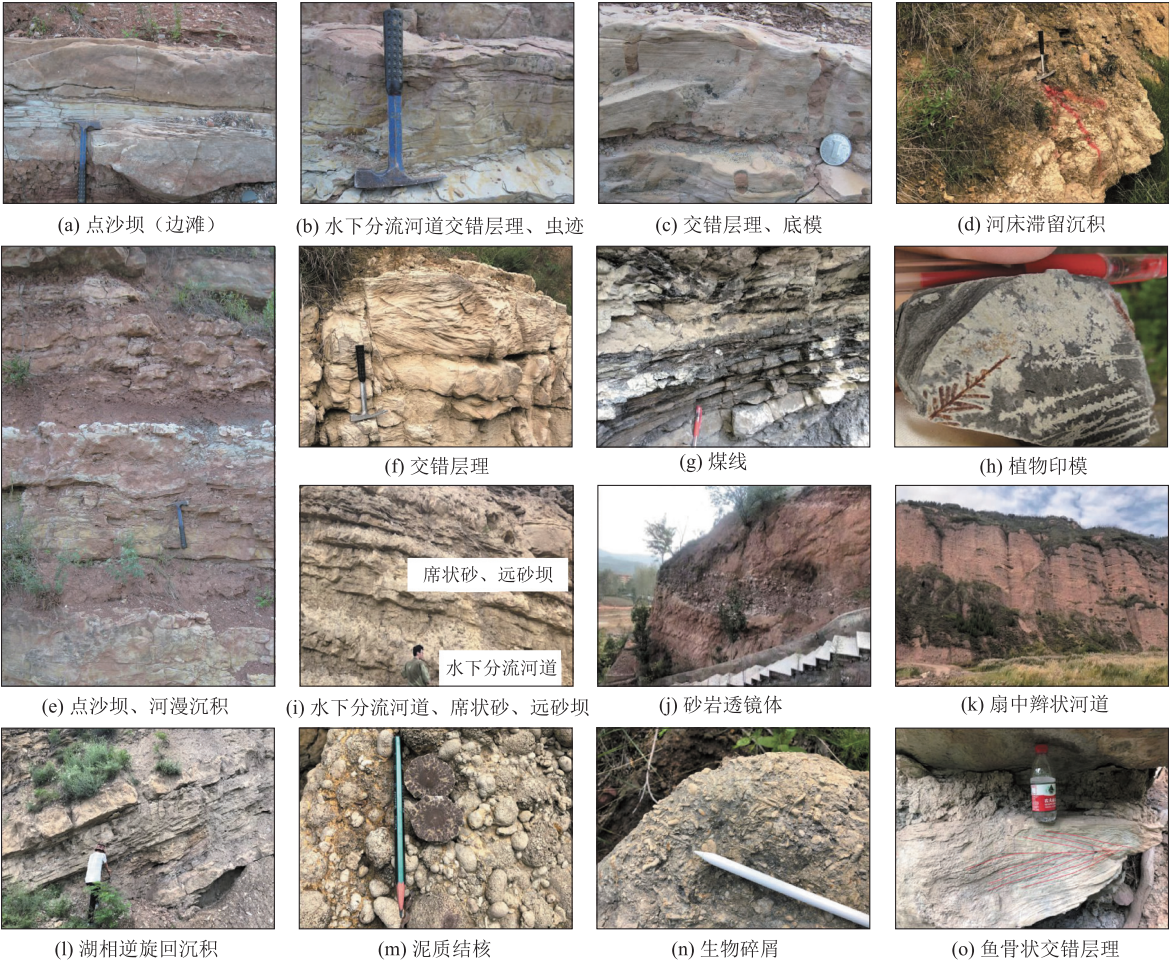


图 3 三门峡盆地野外露头 and 沉积相特征(露头位置见图 1)

Fig. 3 Field outcrops and sediments facies characteristics of Sanmenxia basin(The outcrop location is shown in Fig. 1)

堤岸亚相。堤岸亚相在野外露头剖面可识别出天然堤微相。天然堤多沿曲流河道两侧呈薄层带状或舌状分布,露头岩性以粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩互层为主,偶尔夹有砂岩,发育沙纹层理、波状层理和水平层理(图3(a),(b),(c))。砂体呈豆荚状或透镜状,单砂层一般厚度较薄,发育有粒度变化范围有限的正粒序。

河床亚相。野外露头中可识别出河床滞留微相和边滩微相(图4)。河床滞留微相发育于河床底部,厚度较小,呈不稳定透镜体状,岩性以细—中砾岩、含砾粗砂岩为主,底部冲刷发育(图3(d))。边滩微相岩性一般较辫状河沉积的心滩细,岩性以细砂岩为主,少量中砂岩,交错层理发育(图3(a))。

河漫亚相。野外露头中可识别出河漫滩和河漫湖泊微相。该亚相的沉积作用主要发生在洪水期,是河水越过堤岸后,在河道两侧的泛滥平原上发生悬移载荷垂向加积作用的产物,岩性主要为细粒沉积(图3(e))。露头中河漫湖泊的岩性以灰色灰质泥岩为主,河漫滩岩性以棕红色、棕色及灰绿色砂质泥岩、粉砂岩、泥岩为主,夹薄层细砂岩,与河道砂体相比,厚度整体较薄,覆盖在河漫湖泊沉积之上(图4)。

(2)三角洲相。三角洲沉积体系通常是曲流河或辫状河沉积进一步发展的结果,主要发育在坡底组和小安组,由于三门峡盆地三角洲平原较为陡峭,曲流河分流河道和辫状河道均有发育,结合露头和测井资料,本次识别出了三角洲平原和三角洲前缘两种亚相。

三角洲平原亚相。在五亩地区的露头中识别出了分流河道、分流河道间湾微相。分流河道微相砂体的底部较粗,以中—粗粒砂岩为主,单个分流河道砂体为正韵律旋回(图4),每个旋回底部发育有冲刷面。砂体下部具板状交错层理,中部具波状交错层理和波状层理砂岩,向上逐渐过渡为具爬升交错层理的粉砂岩(图3(f)),测井曲线形态以箱型曲线和正旋回的钟形曲线为主,整体表现为正韵律特征(图5)。分流河道微相在五亩地区呈多河道的分枝状或网状分布,分流河道间湾为广泛发育的积水洼地,易沼泽化,可见2~5 cm的煤线(图3(g))和植物叶片化石(图3(h)),个体多在5~10 cm。分流河道间湾岩性为灰色—灰黑色粉砂岩、泥质粉砂岩、泥岩、碳质泥岩等,测井曲线形态

呈圣诞树型或漏斗形(图5)。

三角洲前缘亚相。结合野外露头和测井资料识别出了水下分流河道、水下分流间湾、远砂坝、河口坝和席状砂5个微相。水下分流河道水流较急,水动力条件较强,露头剖面发育槽状交错层理(图3(f)),上截下切特征明显,纹层为厘米级,呈弧线状。该微相录井岩性主要为灰色、灰褐色中—细砂岩,泥质较少,一般与下伏暗色细粒粉砂质泥岩、泥岩沉积呈突变接触,垂向上具有明显的下粗上细的正粒序演化序列,反映水动力逐渐减弱的趋势。单层砂体的厚度一般为0.5~5 m,最高可达10 m以上,测井曲线形态一般呈幅度向上变小的钟形序列,多个砂体叠置时测井曲线呈圣诞树形(图5)。水下分流间湾以深灰色、灰绿色泥岩为主,夹粉砂质泥岩,厚度为1~5 m,测井曲线形态为圣诞树型或漏斗形(图5)。远砂坝以灰黑色粉砂质泥岩和粉砂岩互层为主,层理较薄,粒度向上略有变粗,测井曲线形态呈低—中幅漏斗形,由于其泥质含量高、砂质含量低,因此自然伽马值相对较高(图5)。席状砂岩性以灰色粉砂岩、细砂岩为主,局部夹深灰色砂岩,砂岩在垂向上具有由细到粗的反韵律特征(图3(i)),测井曲线形态为中低幅箱型(图5)。

(3)冲积扇相。在盆地边缘发育冲积扇沉积,粒度较粗,以砾岩为主,通过野外露头识别出扇根、扇中和扇缘3个亚相。

扇根亚相。盆地边缘露头的扇根沉积主要为泥石流沉积,其岩性组合由分选差、无组构的混杂砾岩或具叠瓦状的砾岩、砂砾岩组成(图3(j))。最大砾径为15 cm,砾石磨圆和分选均较差,向上砾石变小。

扇中亚相。辫状河道沉积岩性以砂岩、含砾砂岩和砾岩为主,砾岩含量、粒度较扇根均明显降低,颗粒排列具有一定规则,可见不明显的平行层理和交错层理,河道冲刷—充填构造较发育(图3(k))。

扇缘亚相。川口剖面扇缘岩性以粉砂岩和泥岩为主,砂岩中可见不明显的平行层理、交错层理和冲刷—充填构造,亦可见块状层理、水平纹理以及变形构造和暴露构造(如干裂、雨痕)。

(4)湖相沉积。结合露头与测井曲线共识别出半深湖相、滨浅湖相等亚相。该沉积相受水流搬运和物源影响较为明显,常有水流改造搬运的泥质结核和生物碎屑(图3(l),(m),(n),(o))。

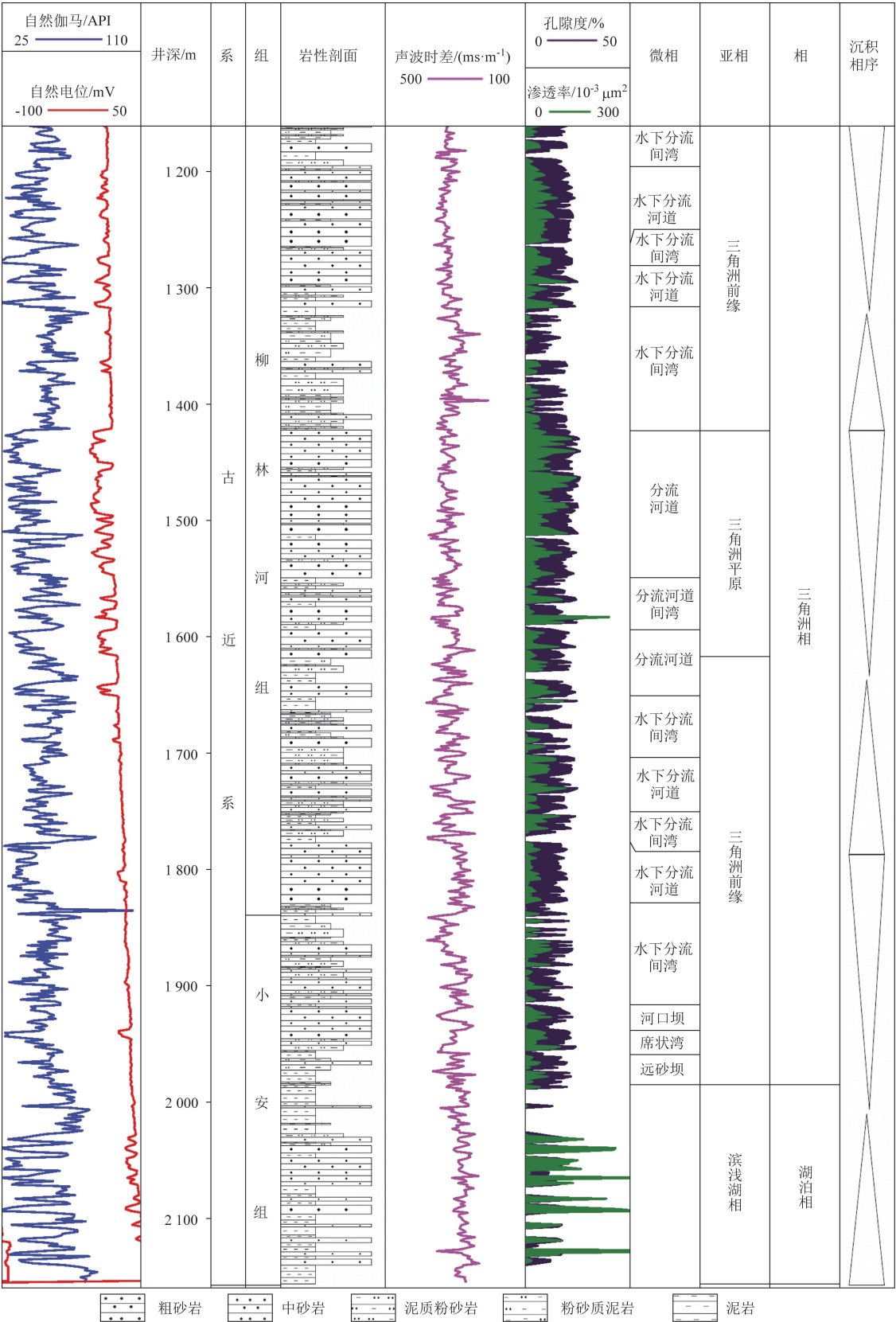


Fig.5 Features of logging curves and sedimentary facies of the Paleogene in Sanmenxia Basin(The drilling location is shown in Fig.1)

半深湖相亚相。岩性以灰绿色泥岩为主,夹少量泥质粉砂岩、灰色泥岩薄层。泥岩单层厚度大且稳定(图4)。

滨浅湖相亚相。露头的滨浅湖相包含多个水深由深到浅的沉积旋回,旋回的主要岩性由下到上依次为泥岩或灰质泥岩、纹层状灰质泥岩、板状灰岩、块状灰岩、生物碎屑和炭屑(图3(n)),滨湖相测井曲线形态呈低幅齿型或平直型,指示相对稳定的低能沉积环境,浅湖相自然声波曲线呈中低幅微齿化箱型,自然伽马值显著减小(图5)。

3.2 沉积相展布及沉积演化模式

基于单井沉积相识别与划分,结合区域构造演化,明确了三门峡盆地古近系主要目的层小安组和柳林河组的沉积相平面分布规律。

3.2.1 古新世沉积期(E_1)

目前,尚无钻井揭示该沉积期地层,从露头能看到灰褐色砾岩、砂砾岩和含砾砂岩。从构造演化

特征分析,该时期豫西断隆活动加剧,断块活动加强,研究区南部两翼分别被小秦岭北部大断裂、中条山南麓断裂切断,形成南北断面向向的地嵌式构造,该时期是控盆断裂的发展阶段,构造运动相对较弱,受其影响三门峡盆地沉降速率有限,盆地没有形成明显的沉降中心。

3.2.2 始新世沉积期(E_2)

由于该时期受南、北两侧断裂拉张作用的影响,盆地进入到断陷盆地发展期,发育了近缘和远缘多套沉积体系。盆地南、北边缘由于距离控盆断裂较近,地形差异大,物源充足,主要发育冲积扇相、河流相和三角洲相过渡或直接从冲积扇相向三角洲相过渡的沉积体系。盆地中央的凹陷区,水体较深,物源供应较少,主要发育半深湖相沉积。始新世中后期,受断层活动影响,湖盆呈现向盆地两侧进积的趋势,湖盆面积逐渐扩大,而盆地两侧的河流相和冲击扇相,向后退积,呈现逐渐缩小的态势(图6(a))。

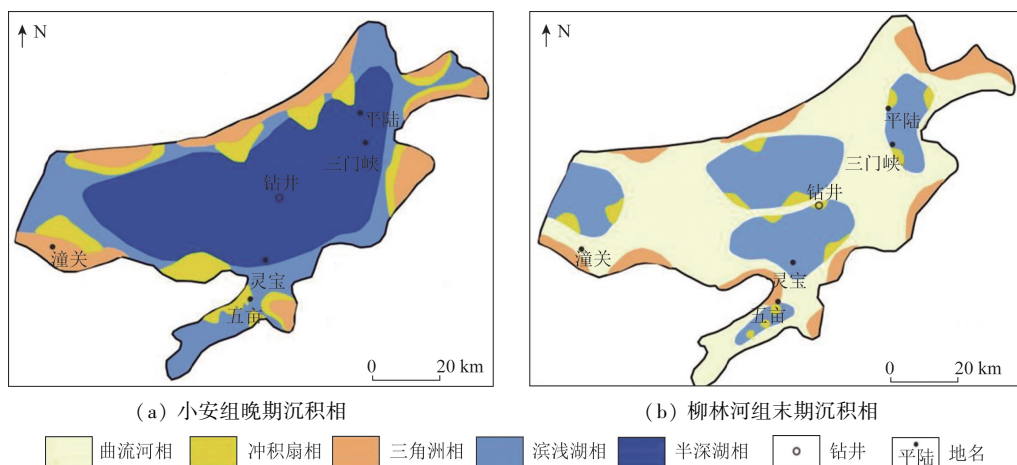


图6 三门峡盆地古近系沉积相展布

Fig. 6 Sedimentary facies distribution of the Paleogene in Sanmenxia Basin

3.2.3 渐新世沉积期(E_3)

渐新世中后期,盆地从断陷盆地向坳陷盆地转化,渐新世晚期再次受到挤压抬升,部分地区遭受较低程度剥蚀,为后续生烃保存了有利条件。受断陷活动减弱的影响,湖水退积,湖盆范围逐渐减小。同时,盆地南北两侧物源供给加强,导致了冲积扇、河流和三角洲向湖盆中央推进,三门峡盆地的沉积体系也由以湖相为主的沉积(主要为小安组),转变为以冲积扇、河流相等陆相沉积为主的沉积(柳林河组)。受构造运动影响,盆地升降多变^[9],灵宝和芮城之间在隆起形成中央构造带,逐步渐变成灵宝凹陷和芮城凹陷两个沉积中心,沉积中心两侧发育

小型冲积扇和三角洲沉积。加之渐新世以来盆地东侧的岱崮山隆起上升加速,盆地东部的平陆地区也形成了山麓沉积环境(图6(b))。此时,柳林河组以砂砾岩为主,夹灰绿色泥岩,而潼关—芮城凹陷环境没有明显变化,仍以粉砂岩、砾岩为主,夹有厚度很薄的泥岩。

4 油气成藏条件探讨

4.1 发育潜在源-储结构,中央构造带被多凹环抱,为油气优势运移指向区

三门峡盆地古近系小安组在盆地中心发育一

套半深湖相的暗色泥岩及灰色泥质粉砂岩,向上逐渐过渡为滨浅湖相灰绿色泥岩和河流相中细砂岩。在盆地南缘的五亩—项城一带发现古近系小安组烃源岩,连续厚度大,暗色泥岩有机碳含量平均值为2.7%,具有较好的生烃物质基础^[4]。镜质体反射率分布范围为0.7%~1.1%^[28],烃源岩进入主力生烃阶段,有机质类型以II型为主,部分为III型,综合评价为中—好烃源岩。某公司部署的地热井HW1井在小安组钻遇油层,笔者所在的项目组开展油源分析认为,该钻井原油油源倾向于古近系湖相烃源岩。同时,中央构造带被平陆凹陷、灵宝凹陷、芮城凹陷环抱(图1),存在潜在的源—储结构^[4],可认为是油气优势运移的指向区。

4.2 发育多个扇三角洲,可形成优质储层

由于中央构造带的隆起,物源供给较充裕,在构造带两侧及盆地边缘发育多个规模不等的扇三角洲(图6(b))。扇三角洲沉积为近物源的长石砂岩,测井孔隙度分为14%~24%,平均值20%,渗透率为 $(50 \sim 1\,500) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。实验室分析砂岩孔隙度平均值为19.79%,渗透率为 $(5 \sim 150) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙类型以粒间孔为主^[4],物性条件好,为中孔—中低渗储层,容易形成优质储层。

4.3 盖层条件好,有利于油气保存

根据三门峡盆地古近系发育沉积相带,推测三门峡盆地发育“下生上储、自生自储、新生古储”3套大的生储盖组合类型,烃源岩为小安组半深湖相泥岩,盖层为滨浅湖相厚层泥岩和三角洲平原相泥岩。同时,在更新世沉积了巨厚的黄土层及砂质黏土层^[4],可作为区域盖层。上述的源岩、盖层与三门峡盆地发育的古近系湖相滩砂、冲积扇以及扇三角洲前缘砂体优质储层,组成“下生上储、自生自储”的生储盖组合。同时,研究区在燕山期曾遭受抬升剥蚀,推测部分地区的前古近系基底长时间暴露容易形成风化壳储层,与上述湖相—滨浅湖泥岩亦可形成“新生古储”的生储盖组合。

从油气的烃源岩、储层、储盖组合分析,三门峡盆地具备油气形成的地质条件。同时,作者所在项目组部署实施的豫峡地1井钻遇较好气测异常层段12段/31.52 m,气测全烃值高达55.87%,最高含油级别为油浸级别,测井解释油层6层/24.8 m^[29],进一步证实了三门峡盆地具有一定的油气勘探潜力。该研究能为三门峡盆地进一步油气勘探提供第一手基础资料。同时,三门峡盆地位于环鄂尔多

斯地区中小型盆地,该盆地在新近系末期受走滑拉分体系影响,同类型河套盆地已获油气突破^[30],三门峡盆地与其构造特征具有一定的相似性,如果三门峡盆地古近系取得勘探突破,将会开辟一个新区,有望进一步引领三门峡—鄂尔多斯盆地周缘—汾渭地堑古近系的勘探投入,亦能为华北地区同类型的中小型断陷盆地油气勘探提供借鉴和参考。

5 结论

(1)三门峡盆地发育13条正断层,其形成可分3个期次,第一期断裂为形成于燕山运动后期的中条山南断裂和华山北断裂,控制着整个盆地形成演化;第二期断裂为形成于喜山期的盆内断裂,控制着盆地内凹陷和凸起的分布;第三期断裂形成于更新世,为盆地凹陷内部调节断层。

(2)明确了三门峡盆地构造演化分5个阶段:前寒武纪变质基底及拗陷槽形成阶段、古生代海侵及造山阶段、中生代地堑式断陷盆地形成阶段、古近纪断陷盆地发展和盆地定型阶段。

(3)三门峡盆地古近系识别出了冲积扇相、曲流河相、三角洲相和湖相4种沉积相、9种沉积亚相和15种沉积微相。古近系小安组、柳林河组为盆地主要沉积地层,分布范围大,小安组湖相泥岩具有较好的生烃潜力,砂岩储层物性较好,并发育“下生上储、自生自储”生储盖组合,推测发育“新生古储”的生储盖组合,具备油气形成和富集的物质基础和地质条件,判断具有一定的油气勘探潜力。

参考文献(References):

- [1] 王宏语,李瑞磊,朱建峰,等. 松辽盆地梨树断陷构造沉积学特征及发育机制[J]. 地学前缘,2023,30(4):112-127.
Wang H Y, Li R L, Zhu J F, et al. Tectono-sedimentary characteristics and formation mechanism of the Lishu rift depression, Songliao Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2023, 30(4): 112-127.
- [2] 王建强,刘池洋,高飞,等. 陕西渭河盆地前新生界地质特征及其油气意义[J]. 地质通报,2015,34(10):1981-1991.
Wang J Q, Liu C Y, Gao F, et al. Pre-Cenozoic geological characteristics and oil-gas significance in Weihe basin, Shaanxi Province[J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(10): 1981-1991.
- [3] 油田石油地质志编写组. 中国石油地质志 卷七[M]. 北京:石油工业出版社,1993.

- Oilfield Petroleum Geology Compilation Team. Petroleum Geology of China VOL. 7[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993.
- [4] 王丹丹, 张交东, 刘旭峰, 等. 河南三门峡盆地构造格架及其油气资源远景分析[J]. 中国地质, 2024, 51(3): 719–727.
Wang D D, Zhang J D, Liu X F, et al. Structural framework of Sanmenxia Basin, Henan Province and its oil and gas resources potential analysis[J]. Geology in China, 2024, 51(3): 719–727.
 - [5] 张瑞胜. 河南灵宝盆地中新世代陆相地层的新划分与对比研究[J]. 资源调查与环境, 2014, 35(2): 114–119.
Zhang R S. A newly stratigraphic division – correlation of Mesozoic – Cenozoic continental strata of Lingbao basin in Henan Province[J]. Resources Survey and Environment, 2014, 35(2): 114–119.
 - [6] 王现国, 杨国华, 谷芳莹, 等. 三门峡盆地地下水化学成分演化机理与模拟[J]. 人民黄河, 2018, 40(6): 82–86.
Wang X G, Yang G H, Gu F Y, et al. Evolution mechanism and simulation of chemical composition of groundwater in Sanmenxia Basin[J]. Yellow River, 2018, 40(6): 82–86.
 - [7] 王建一, 胡望水, 汤济广, 等. 豫西地区中生代构造特征与油气前景评价[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(5): 207–215.
Wang J Y, Hu W S, Tang J G, et al. Structural characteristics of Mesozoic and Palaeozoic and exploration prospects of the West He'nan region[J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(5): 207–215.
 - [8] 王飞, 胡望水, 汤济广, 等. 豫西地区构造样式与成藏模式[J]. 长江大学学报: 自科版, 2015, 12(11): 1–7.
Wang F, Hu W S, Tang J G, et al. Tectonic styles and hydrocarbon accumulation pattern in the western Henan area[J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition, 2015, 12(11): 1–7.
 - [9] 葛勋, 汤济广, 姜天阳, 等. 豫西地区中生代差异构造变形[J]. 桂林理工大学学报, 2018, 38(4): 703–711.
Ge X, Tang J G, Jiang T Y, et al. Mesozoic – Cenozoic different tectonic deformation in western Henan[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2018, 38(4): 703–711.
 - [10] 冯兴祥. 三门峡盆地的新构造运动与地震活动[J]. 河南师大学报, 1982(1): 49–55.
Feng X X. Neotectonics movement and earthquake activity in Sanmenxia basin[J]. Journal of Henan University, 1982(1): 49–55.
 - [11] 贾海民. 河南省三门峡市灵宝市地质与矿产调查研究[J]. 世界有色金属, 2016, 41(S9): 51–52.
Jia H M. Sanmenxia city in Henan Lingbao city geology and mineral investigation[J]. World Nonferrous Metals, 2016, 41(S9): 51–52.
 - [12] 刘恩然, 刘成林, 石砥石, 等. 南华北盆地周口坳陷东北部上古生界泥岩孔隙非均质性 & 主控因素[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2022, 53(9): 3773–3790.
Liu E R, Liu C L, Shi D S, et al. Characterization and controlling factors of pore structural heterogeneity of mudstone: A case of upper Paleozoic in northeast Zhoukou Depression, Southern North China Basin[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2022, 53(9): 3773–3790.
 - [13] 韩宇春, 黄晓梅. 华北南部地区古生界构造演化及其油气远景[J]. 海相油气地质, 1997, 2(3): 11–15.
Han Y C, Huang X M. Structural evolution and hydrocarbon prospects of Paleozoic in southern part of North China[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 1997, 2(3): 11–15.
 - [14] 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(1): 27–33.
Xu H L, Zhao Z J, Yang Y N, et al. Structural pattern and structural style of the southern North China Basin[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2003, 24(1): 27–33.
 - [15] 吴奇, 许立青, 李三忠, 等. 华北地块中部活动构造特征及汾渭地堑成因探讨[J]. 地学前缘, 2013, 20(4): 104–114.
Wu Q, Xu L Q, Li S Z, et al. Active tectonics in the Central North China Block and the cause of the formation of the Fenwei Graben[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(4): 104–114.
 - [16] 吴伟, 王雨涵, 曹高社, 等. 南华北盆地豫西地区 C–P 烃源岩地球化学特征[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(1): 128–136.
Wu W, Wang Y H, Cao G S, et al. The geochemical characteristics of the carboniferous and Permian source rocks in the western Henan, the southern North China Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(1): 128–136.
 - [17] 刘艳杰, 程党性, 邱庆伦, 等. 南华北盆地地下二叠统泥页岩孔隙特征及控制因素[J]. 天然气地球科学, 2020, 31(10): 1501–1513.
Liu Y J, Cheng D X, Qiu Q L, et al. Characteristics of pores and controlling factors of Lower Permian shales in Southern North China Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2020, 31(10): 1501–1513.
 - [18] 宋佳佳, 田晓峰, 王帅军, 等. 南华北块体及邻区地质结构构造研究进展[J]. 地球物理学进展, 2021, 36(3): 940–952.
Song J J, Tian X F, Wang S J, et al. Research progress of geological structure in the South north China and adjacent areas[J]. Progress in Geophysics, 2021, 36(3): 940–952.
 - [19] 李明培, 邵龙义, 李智学, 等. 华北地区石炭一二叠纪下煤组聚煤期岩相古地理[J]. 煤炭学报, 2020, 45(7): 2399–2410.
Li M P, Shao L Y, Li Z X, et al. Lithofacies palaeogeography of lower coal group accumulation period of Carboniferous Permian in North China[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(7): 2399–2410.
 - [20] 王丹丹, 李世臻, 周新桂, 等. 大兴安岭地区突泉盆地高精度重磁电特征及其构造格架[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2016, 46(1): 240–253.
Wang D D, Li S Z, Zhou X G, et al. Lithology lithofacies identification and deep structure of Tuquan Basin in great Xinggan range area based on high – precision gravity – magnetic – electrical survey[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2016, 46(1): 240–253.
 - [21] 王丹丹, 赵松, 张文浩, 等. 松辽盆地外围通化地区高精度重磁电特征及其构造格架[J]. 中国地质, 2020, 47(4): 1056–1068.

Wang D D, Zhao S, Zhang W H, et al. Lithofacies identification and deep structure of Tonghua area in the periphery of Songliao Basin based on high - precision gravity - magnetic electrical survey[J]. *Geology in China*, 2020, 47(4): 1056 - 1068.

[22] 刘卫彬, 李世臻, 徐兴友, 等. 松辽外围火山 - 沉积盆地非常规油气调查发现及启示意义——以双阳盆地为例[J]. *煤炭学报*, 2022, 47(6): 2396 - 2406.

Liu W B, Li S Z, Xu X Y, et al. Discovery of unconventional oil and gas in volcanic sedimentary basins around Songliao and its enlightenment: Take Shuangyang Basin as an example[J]. *Journal of China Coal Society*, 2022, 47(6): 2396 - 2406.

[23] 曹高社, 徐国强, 高立祥, 等. 豫西南晚白垩世盆地断裂构造和沉积特征的自相似性分析[J]. *河南理工大学学报: 自然科学版*, 2012, 31(6): 674 - 678, 701.

Cao G S, Xu G Q, Gao L X, et al. Similarity analysis of rift structure and sedimentary characteristics in basins of southwestern Henan province, Upper Cretaceous[J]. *Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science*, 2012, 31(6): 674 - 678, 701.

[24] 曲志成, 贾会冲, 田刚, 等. 三门峡盆地重力异常特征与构造格局[J]. *科学技术与工程*, 2022, 22(24): 10425 - 10433.

Qu Z C, Jia H C, Tian G, et al. Gravity anomaly characteristics and tectonic framework in Sanmenxia Basin[J]. *Science Technology and Engineering*, 2022, 22(24): 10425 - 10433.

[25] 杜建军, 马寅生, 黎敦朋. 渭河盆地东南缘主要断裂晚更新世以来的活动性及灾害效应[J]. *地球学报*, 2017, 38(S1): 55 - 58.

Du J J, Ma Y S, Li D P. Activity of main faults since the late Pleistocene and related geohazard effects in southeast of Weihe Basin[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2017, 38(S1): 55 - 58.

[26] 薛晓东. 1815 平陆 6^{3/4} 级地震震震构造初步研究[J]. *山西建*

筑, 2016, 42(17): 44 - 45.

Xue X D. Prelim inary study on seismogenic structure of Pinglu 6^{3/4} earthquake in 1815[J]. *Shanxi Architecture*, 2016, 42(17): 44 - 45.

[27] 何发岐, 於文辉, 马超, 等. 三门峡断陷盆地及邻区深部结构及成因 - 来自深地震反射与大地电磁测深的证据[J]. *地质学报*, 2024, 98(4): 1088 - 1100.

He F Q, Yu W H, Ma C, et al. Deep structure and genesis of Sanmenxia fault basin and its adjacent area: evidence from deep seismic reflection and magnetotelluric sounding[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2024, 98(4): 1088 - 1100.

[28] 李清瑶, 高永进, 陈夷, 等. 北方重要盆地油气资源战略选区调查工作进展[J]. *中国地质调查*, 2024, 11(1): 1 - 8.

Li Q Y, Gao Y J, Chen Y, et al. Progress in the strategic selection investigation of oil and gas resources in northern important basins[J]. *Geological Survey of China*, 2024, 11(1): 1 - 8.

[29] 包书景, 郭天旭, 白忠凯, 等. 中国地质调查局新一轮找矿突破战略行动油气调查工作成果与进展[J]. *中国地质*, 2024, 51(3): 封 2.

Bao S J, Guo T X, Bai Z K, et al. The achievements and progress of oil and gas survey work in the new round of exploration breakthrough strategy action by the China geological survey bureau[J]. *Geology in China*, 2024, 51(3): 封 2.

[30] 陆鹿, 陈树光, 李壮福, 等. 河套盆地临河坳陷白垩纪 - 古近纪沉积环境演化及油气地质意义[J]. *古地理学报*, 2022, 24(2): 308 - 331.

Lu L, Chen S G, Li Z F, et al. Sedimentary evolution and petroleum potential of the Cretaceous to Paleogene in Linhe depression, Hetao Basin[J]. *Journal of Palaeogeography (Chinese Edition)*, 2022, 24(2): 308 - 331.

Structural sedimentary characteristics and oil & gas exploration potentials of Paleogene System in Sanmenxia basin of Henan Province

WANG Dandan^{1,2,3}, LIU Xufeng^{1,2,3}, ZHANG Jiaodong^{1,2,3}, ZENG Qiunan^{1,2,3}, LIU Yalei^{1,2,3},
BAI Zhongkai^{1,2,3}, GAO Yongjin^{1,2,3}, ZHANG Yuanyin^{1,2,3}
(1. Oil & Gas Survey Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Unconventional Oil & Gas Geology, China Geological Survey, Beijing 100083, China; 3. National Key Laboratory for Green Mining of Multi - resource Collaborative Continental Shale Oil, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to identify the structural evolution, Paleogene sedimentary characteristics, and hydrocarbon conditions of Sanmenxia basin, the authors studied the structural evolution, fault development, and sedimentary facies characteristics of Sanmenxia basin based on the two - dimensional seismic interpretation, drilling logging data, outcrop features, experimental data, and other data. And the potentials for oil and gas exploration were discussed. The results show that normal faults under 3 active periods were developed in Sanmenxia basin. The first - period faults are basin - controlling faults at the end stage of Yanshanian orogenic movement. The second - period faults are basin internal control concave faults in the Himalayan period. The third - period faults are intra - basin tear faults in Pleistocene System. Sanmenxia basin has experienced five evolutionary stages: Precambrian metamor-

phic basement and depression trough formation stage, Paleozoic transgression and orogeny stage, the formation stage of Mesozoic graben type faults basin, the development stage of Paleogene faults basin and basin finalization stage. Four sedimentary facies, including alluvial fan facies, meandering river facies, delta facies and lacustrine facies, 9 sedimentary subfacies and 15 sedimentary microfacies were identified. Organic carbon content of dark mudstone in Xiao'an Formation is 2.7%, indicating good material base for hydrocarbon generation. The distribution range of vitrinite reflectance is 0.7% ~ 1.1%, Hydrocarbon Source rocks enter the main hydrocarbon production stage, and the organic matter type is mainly type II with some of type III, indicating medium – good source rock. The delta facies and alluvial fan facies lay the foundation for reservoir development, with the average porosity of 19.79% and the permeability of $(5 \sim 150) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, indicating medium porosity – medium low permeability reservoir with good physical properties. The source – reservoir – cap assemblage of lower – source and upper – reservoir model and self – generation and self – storage model was developed. It is speculated that the type of new source and old reservoir model is also developed, meaning it has material basis and geological conditions for the formation and enrichment of oil and gas. The industrial oil flow was obtained during the drilling of Yushan-di No. 1 well, which further confirms that Sanmenxia basin has certain potentials for oil and gas exploration.

Keywords: the western Henan Province; Sanmenxia basin; Paleogene System; sedimentary facies; tectonic evolution; accumulation condition

(责任编辑: 常艳)