

doi: 10.12029/gc20201215001

王丹丹, 张交东, 刘旭锋, 邵昌盛, 曾秋楠, 张文浩, 刘钊. 2024. 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, 51(3): 719-727.
Wang Dandan, Zhang Jiaodong, Liu Xufeng, Shao Changsheng, Zeng Qiunan, Zhang Wenhao, Liu Zhao. 2024. Structural framework of Sanmenxia Basin, Henan Province and its oil and gas resources potential analysis[J]. Geology in China, 51(3): 719-727(in Chinese with English abstract).

河南三门峡盆地构造格架及其油气资源远景分析

王丹丹^{1,2}, 张交东^{1,2}, 刘旭锋^{1,2}, 邵昌盛³, 曾秋楠^{1,2}, 张文浩^{1,2}, 刘钊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重点实验室, 北京 100029; 3. 四川省核工业地质局二八二大队, 四川 德阳 618000)

摘要:【研究目的】三门峡盆地位于中条山断块、小秦岭断块和崤山断块之间的复合、联合部位, 经历多次构造运动与变动, 是发育在前寒武纪结晶基底之上, 并逐步演化为一个三角形断陷盆地。该盆地构造较为复杂, 勘探程度低, 盆地构造格架和演化史研究甚少, 影响了盆地的油气资源潜力评价和勘探进程。【研究方法】本文选择三门峡盆地作为研究对象, 依据区域地质资料、野外地质调查、非震勘探解译资料和最近钻井成果等, 初步查明了三门峡盆地的构造格架和古近系顶底面埋深, 并探讨了其油气资源前景。【研究结果】三门峡盆地演化过程主要经历了 4 个演化阶段: (1) 前寒武纪变质基底形成及拗陷槽形成阶段; (2) 古生代海侵和造山阶段, 主要发育海相和海陆过渡相, 之后盆地抬升, 拗陷槽演变成向斜构造; (3) 中生代地堑式断陷盆地形成阶段; (4) 古近纪断陷盆地发展和裂陷后沉积阶段。【结论】断陷盆地发展和裂陷后沉积阶段由于喜山期的活动使三门峡盆地处于拉张环境中, 形成了南部、北部、东部三面隆起的内陆湖盆, 地堑区相对下降接受沉积, 特别是三门峡盆地灵宝凹陷古近系沉积厚度大且分布连续, 暗色泥岩发育, 具有一定的油气资源前景。

关键词: 构造演化; 油气远景; 古近系; 油气勘查工程; 灵宝凹陷; 三门峡盆地; 河南省

创新点: (1) 利用区域地质、非震、钻井等地质资料划分了三门峡盆地构造演化阶段; (2) 提出灵宝凹陷古近系暗色泥岩具有一定的生烃物质基础, 是有利的油气勘探远景区。

中图分类号: P618.13 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2024)03-0719-09

Structural framework of Sanmenxia Basin, Henan Province and its oil and gas resources potential analysis

WANG Dandan^{1,2}, ZHANG Jiaodong^{1,2}, LIU Xufeng^{1,2}, SHAO Changsheng³, ZENG Qiunan^{1,2},
ZHANG Wenhao^{1,2}, LIU Zhao³

(1. Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Unconventional Oil & Gas Geology, Beijing 100029, China; 3. The 282 Team of Sichuan Nucleus Industrial Geology Bureau, Deyang 618000, Sichuan, China)

Abstract: This paper is the result of oil and gas exploration engineering.

[Objective] The Sanmenxia Basin located in the composite and joint part of the Zhongtiaoshan fault block, Xiaoqinling fault block and Xiaoshan fault block has undergone many stages tectonic movements and changes. It gradually evolved into a triangular fault

收稿日期: 2020-12-15; 改回日期: 2021-03-05

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20190095)和国家重大专项(2016ZX05034-004-006)联合资助。

作者简介: 王丹丹, 女, 1982 年生, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事油气地质综合研究工作; E-mail: ddwangcn@163.com。

通讯作者: 张交东, 男, 1968 年生, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事石油地质勘探研究工作; E-mail: 644184823@qq.com。

basin on the Precambrian crystalline basement. **[Methods]** Due to its complex structure and low exploration level, the structural framework and evolution history of Sanmenxia Basin has unknown. This has affected the potential evaluation and exploration process of oil and gas resources in the study area. In this paper, Sanmenxia Basin is selected as the research object. Based on regional geological data, field geological survey, comprehensive interpretation of non-seismic exploration and recent drilling results, the structural framework and burial depth of the top and bottom of Paleogene are preliminarily identified to explore the prospect of oil and gas resources. **[Results]** The evolution process of Sanmenxia Basin has mainly experienced four stages: (1) Precambrian metamorphic basement and depression trough formation stage; (2) The Paleozoic transgression and orogenic stage. During this stage, marine facies and marine-terrestrial transition facies were mainly developed, after which the basin was uplifted and the depression trough evolved into a syncline structure; (3) The Mesozoic graben-type faulted basin formation stage; (4) Paleogene faulted basin development and post-sedimentary stages. **[Conclusions]** At this stage, due to the influence of the Himalayan movement, Sanmenxia Basin was in an extensional environment, and formed inland lake bounded by three-sided uplifts in the South, North, and East. The graben area was relatively descended to accept deposits. The Paleogene in the Lingbao Sag of the Sanmenxia Basin has the characteristics of large thickness and continuous distribution, and the dark mudstone is particularly developed, which has good prospects for petroleum resources.

Key words: tectonic evolution; hydrocarbon potential; Palaeogene; oil and gas exploration engineering; Lingbao Sag; Sanmenxia Basin; Henan Province

Highlights: (1) The tectonic evolution stages of Sanmenxia Basin are divided by using regional geological, non-seismic, drilling and other geological data; (2) It is proposed that the Paleogene dark mudstone in the Lingbao Sag has a certain hydrocarbon generation material basis and is a favorable oil and gas exploration prospect area.

About the first author: WANG Dandan, female, born in 1982, Ph.D., professor level senior engineer, mainly engaged in the basic geological survey and study of petroleum and gas geology; E-mail: ddwangcn@163.com.

About the corresponding author: ZHANG Jiaodong, born in 1968, Ph.D., professor level senior engineer, mainly engaged in petroleum geological exploration research; E-mail: 644184823@qq.com.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey (No. DD20190095) and National Science and Technology Major Project (No. 2016ZX05034-004-006).

1 引言

三门峡盆地位于中条山断块、小秦岭断块和崤山断块的交叉复合部位(冯兴祥, 1982; 王景宣, 2013; 贾海民, 2016), 东西长约 120 km, 南北宽约 40 km, 面积 3000 km², 内部发育 5 个次级凹陷和 2 个构造带, 是一个以新生界为主的断陷盆地, 构造较为复杂, 找矿难度大, 勘探程度低(翟光明, 1993; 张瑞胜, 2014; 王现国等, 2018), 前人研究主要集中在古近系方面, 认为古近系自下而上发育门里组、坡底组、项城组、柳林河组, 对盆地构造格架研究和油气勘探前景的研究甚少, 认为该盆地不发育古近系烃源岩, 油气勘探前景渺茫, 从而制约了三门峡盆地勘探部署和油气勘探潜力评价。近年来, 随着勘探工作的不断深入, 中国地质调查局近几年在灵宝凹陷、五亩凹陷发现了良好的烃源岩, 某公司近期钻探的地热井函温 1 井见到了油气显示, 展现出良好的油气勘探前景。笔者在对前人资料分析研

究的基础上, 结合近期新部署实施的广域电磁、野外地质调查、样品测试分析等资料, 开展了三门峡盆地的构造演化特征的相关研究工作, 并初步分析了研究区的油气勘探前景, 以期后续该地区的油气勘探和油气资源潜力评价工作提供理论依据和基础支撑。

2 区域地质概况

三门峡盆地位于小秦岭背斜东段北翼、汾渭地堑东南部(张古彬等, 2011), 大地构造上是秦岭纬向构造的小秦岭断块与华夏经向的中条山断块、崤山断块的交界部位(冯兴祥, 1982; 白太绪等, 1992; 李兴文等, 2017)(图 1)。在古元古代末期为一凹陷槽, 经历了多期构造运动逐步演变成现今的东西向断陷盆地(冯兴祥, 1982; 刘瑾等, 2020)。盆地基底为太古宇、元古宇变质岩系, 盆地内地层主要有石炭系—二叠系、古近系和第四系(图 2), 出露地层主要为太古界、元古界和新元古界震旦系(翟光明,

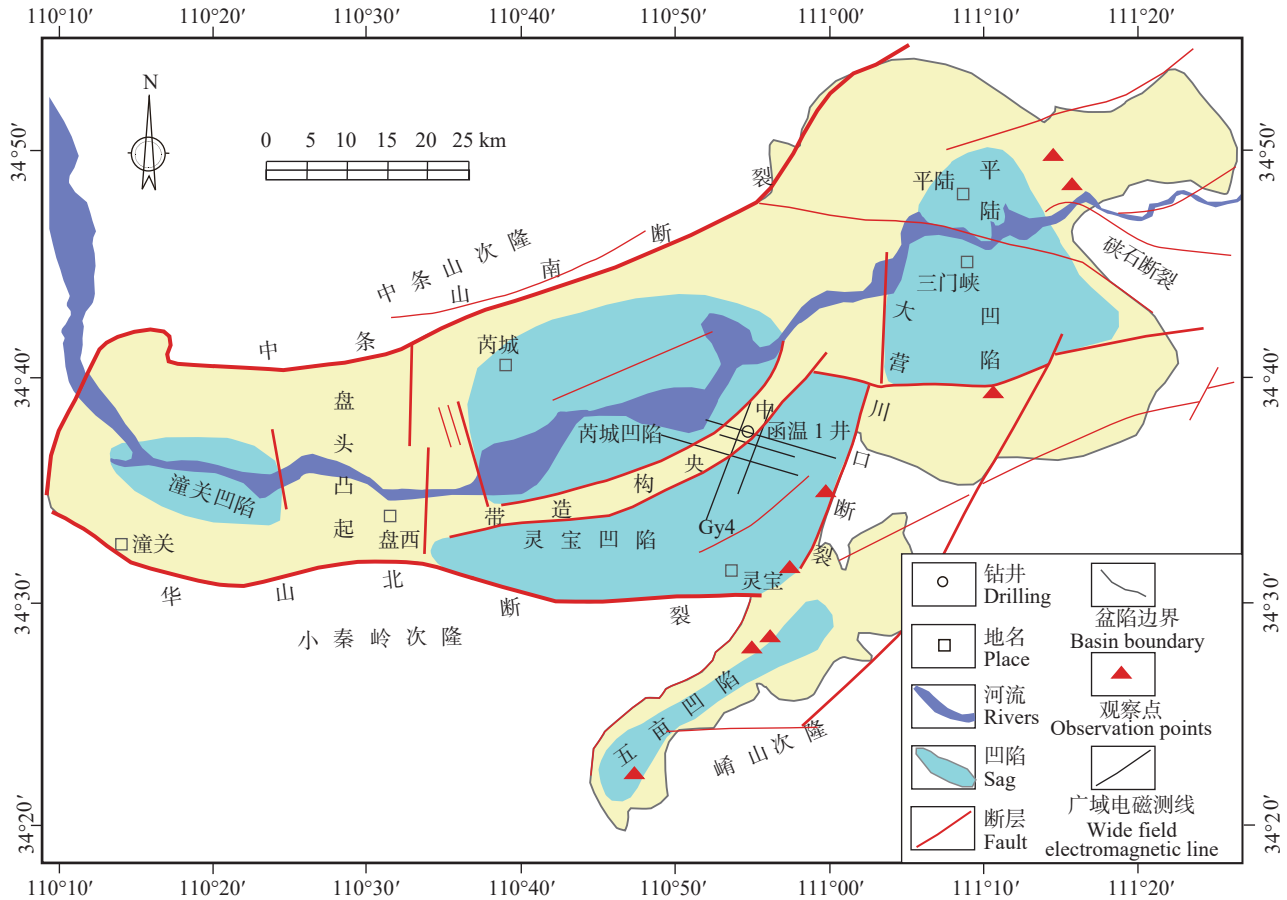


图 1 三门峡盆地构造区划图
Fig.1 Structural map of Sanmenxia Basin

1993; 黄继超等, 2012; 刘瑾等, 2020)。其中, 古近系主要发育门里组砂砾岩夹细砂岩和泥灰岩, 坡底组泥岩、砂质泥岩和泥质白云岩, 小安组泥岩及砂泥岩互层, 柳林河组泥岩和粉砂质泥岩等(坡底、小安组也称项城组), 各组地层间均为整合接触, 并可见暗色泥岩, 经岩性统计, 暗色泥岩厚度范围在 100~450 m, 且小安组上部泥岩中可见黑色油页岩, 新鲜剖面有油味。

3 构造格架

综合该盆地已完成的区域地质调查、钻井和新部署的广域电磁剖面资料分析得出, 三门峡盆地整体呈“五凹两隆”的构造格架, 东部为平陆凹陷和中央构造带, 南部为五亩凹陷、西部为潼关凹陷和盘头凸起、中部为芮城凹陷和灵宝凹陷(图 1)。由于 20 世纪 50—60 年代区域地质调查以及 20 世纪 70—90 年代石油地质调查阶段的钻探均未发现

有效源岩, 认为不具备形成工业性油气藏的物质条件, 油气勘探工作停止, 导致油气勘探程度非常低。

近期的野外地质调查和非震剖面的地质解释表明, 三门峡盆地主要受近 EW 向的小秦岭北麓断裂(华山北断裂)、ENE 向的中条山南麓断裂和 NE 向的灵宝—三门峡断裂(大营—川口断裂)控制(图 1)。灵宝—三门峡断裂和小秦岭北麓断裂共同控制了盆地的沉降中心。盆地内自下而上沉积了古近系门里组、坡底组、小安组和柳林河组, 五亩凹陷缺失门里组(图 2), 古近系最大埋深超过 4.5 km(图 3)。

4 构造演化与岩相古地理特征

在已有研究的基础上, 结合 2019 年新实施的广域电磁资料, 综合研究查明了盆地的演化史, 可将三门峡盆地演化史分为 4 个阶段(图 2)。

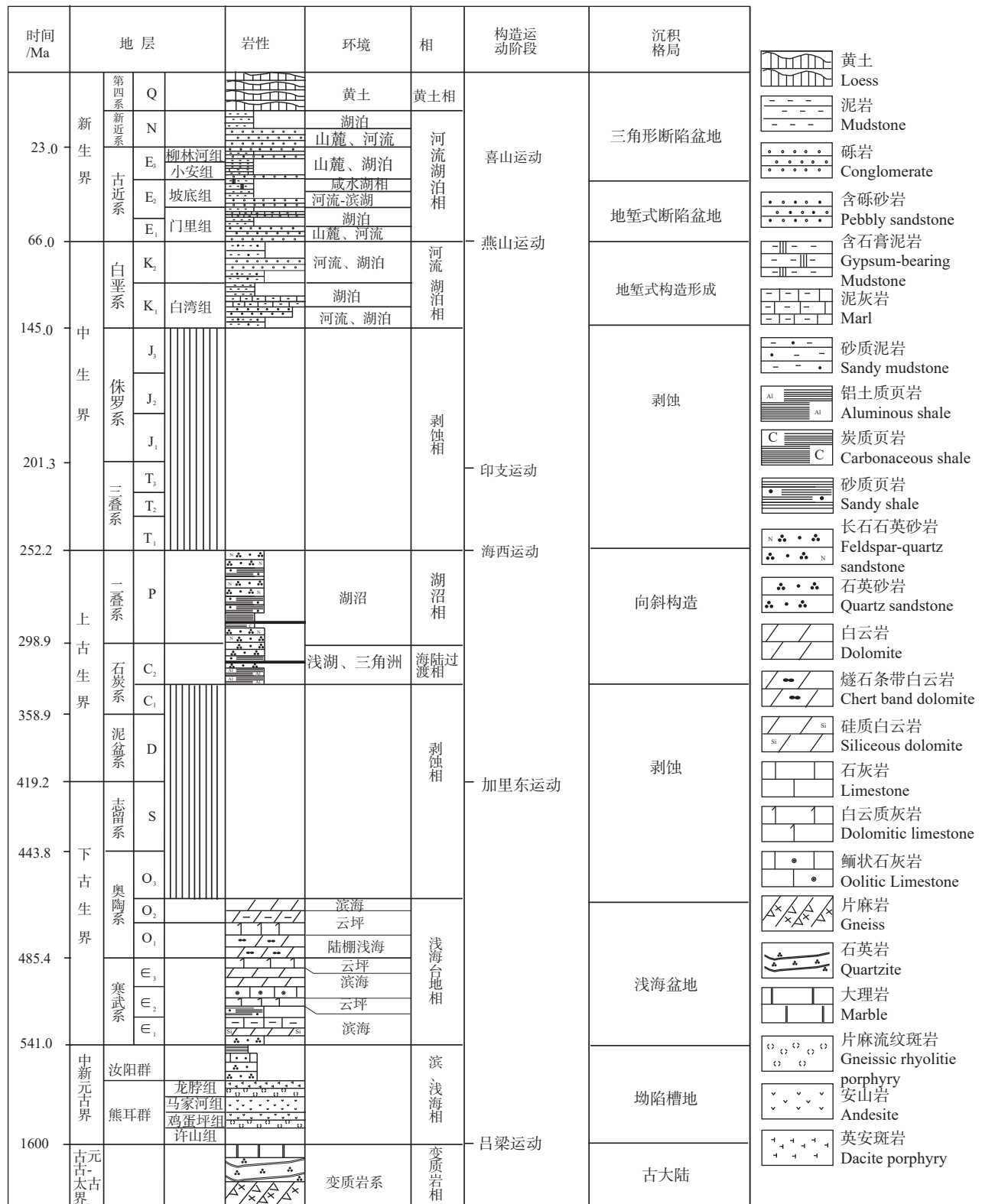


图 2 三门峡盆地构造演化及沉积特征综合柱状图

Fig.2 Structural evolution and sedimentary characteristics comprehensive histogram of Sanmenxia Basin

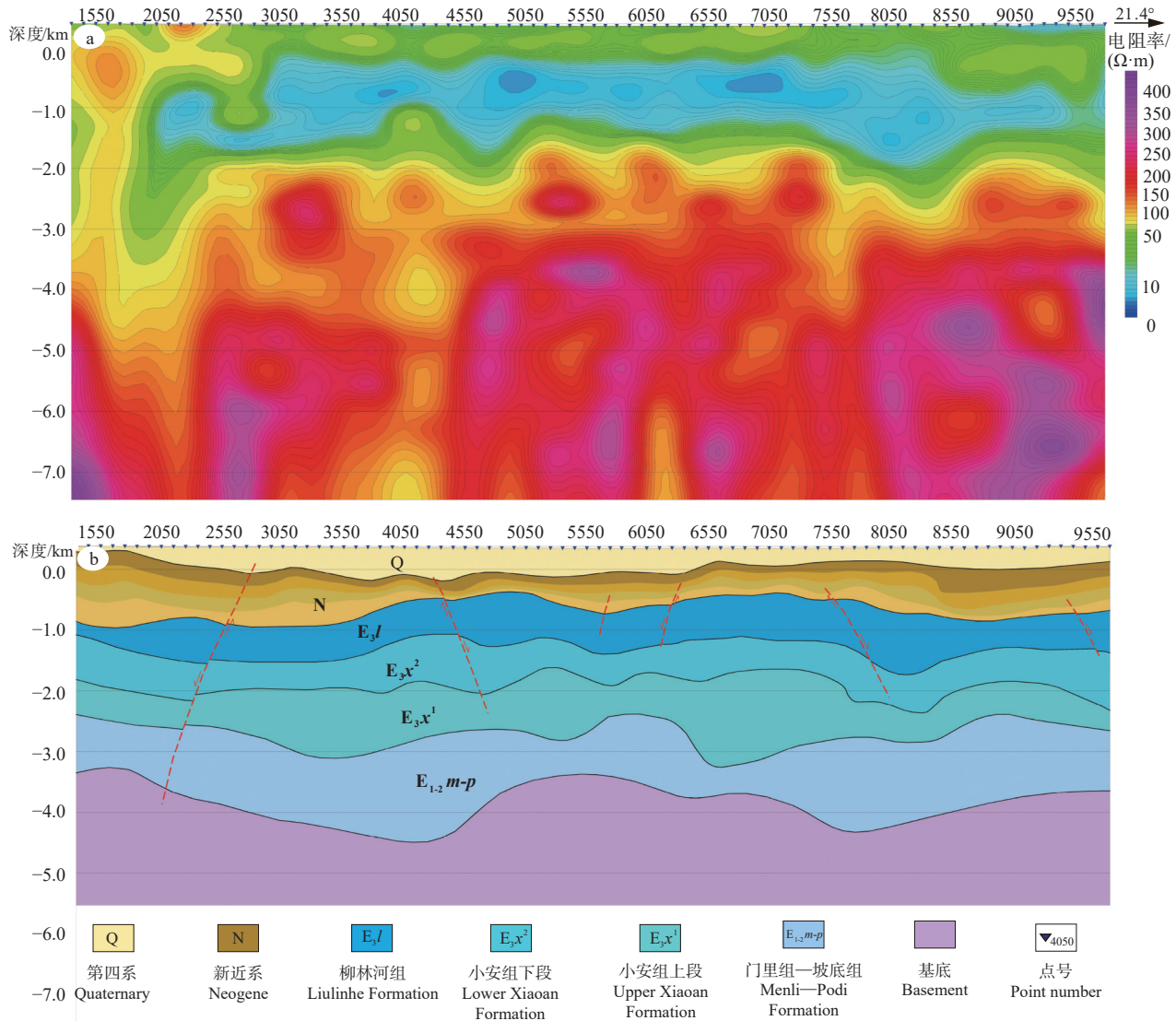


图 3 三门峡盆地灵宝凹陷 Gy4 线广域电磁剖面图
 Fig.3 Gy4 wide field electromagnetic section of Lingbao Sag in Sanmenxia Basin

4.1 前寒武纪变质基底形成及坳陷槽形成阶段

三门峡盆地的结晶基底为古太古界和元古宇的古大陆部分变质岩系(白太绪等, 1992), 以汝阳群为代表。原岩是基性—中基性—中酸性火山岩与碎屑沉积岩建造, 岩性组合主要有黑云(角闪)斜长片麻岩、混合质角闪黑云斜长片麻岩、条带状混合岩、石英岩、大理岩夹变粒岩、角闪岩等, 局部地区混合岩化强烈(胡克等, 1996; 张文浩等, 2021)。中—新元古代, 受吕梁运动的影响, 在南北向强大压应力的作用下, 该地区逐渐演变成秦岭东西向构造带中的一个坳陷槽, 沉积了一套以熊耳群为代表的中基性—中酸性火山熔岩。之后, 在盆地南部, 平行

不整合熊耳群之上沉积了一套滨海—浅海相石英砂岩、长石石英砂岩和板岩, 在盆地东北部角度不整合熊耳群之上沉积了一套三角洲—滨海—浅海相连续沉积的碎屑岩建造, 岩性主要以中粗粒石英砂岩、页岩为主, 夹钙质砂岩、海绿石砂岩, 局部赋存透镜状铁矿层。

4.2 古生代海侵及造山阶段

古生代初期在华北地区大面积下沉的背景下, 三门峡盆地持续性沉降, 海水自东向西侵入形成一个面积广阔的浅海盆地。此时, 三门峡盆地沉积了一套海相下古生界, 主要为寒武系的白云质灰岩、泥质条带灰岩、泥质灰岩、页岩和下一中奥陶统马

家沟组白云岩、豹皮灰岩。加里东运动使地层稳定上升,导致上奥陶统至下石炭统缺失,到早石炭世末期至晚石炭世初期再次下降接受沉积,沉积环境由海相转变为海陆过渡相,沉积了一套海陆交互的石炭系、石炭系—二叠系。海西运动末期,随着构造运动的加强,该区又经历了剧烈的造山运动,致使古生界发生大规模的褶皱变形,原先的坳陷槽演变成一个宽缓的向斜构造。

4.3 中生代地堑式断陷盆地的形成阶段

由于燕山运动早期的影响,在黄河向斜构造的两翼及东部地区发生闪长玢岩、正长斑岩和酸性花岗岩的侵入。此时,华北地台豫西断隆的出现,导致三门峡地区三叠系、下侏罗统遭受剥蚀殆尽,古生界亦遭受部分剥蚀。燕山运动后期,断块活动增强,南北两翼分别被小秦岭北部大断裂、中条山南麓断裂切断,形成了南北断面相向的地堑式构造,自此,地堑式断陷盆地的雏形开始出现(冯兴祥, 1982),在五亩凹陷发育有湖相下白垩统沉积,主要岩性为灰绿、黄褐色砂质泥岩、砂岩、粉细砂岩,该地层与二叠系呈角度不整合接触(翟光明, 1993)。

4.4 古近纪断陷盆地发展和裂陷后沉积阶段

进入古近纪后(喜马拉雅运动早期),三门峡盆地进入断陷主期发展阶段。由于盆地南部小秦岭北部断裂和北部中条山南麓断裂的活动,使三门峡盆地处于拉张环境中,地堑区相对下降接受沉积,逐渐演变为一个南部、北部、东部三面隆起的半封闭式内陆湖盆,湖盆东部的平陆—五亩凹陷湖水较深,物源供给不足,出现较深水的弱还原环境,发育坡底组、小安组的灰色—深灰色泥岩、钙质泥岩,小安组灰色泥岩中夹黑色泥岩及油页岩,并发育水平层理,而西部的潼关、芮城凹陷处于浅湖环境,物源供给较充足,沉积了一套古近纪早期的红色粉砂岩系。

渐新世,研究区轻度抬升,产生了宽而缓的褶皱,盆地东南部 NE 向的大营—川口断裂,与先期形成的小秦岭北麓断裂、中条山南麓大断裂斜交,至此,盆地演变成一个三角形的断陷盆地。在盆地东部的平陆凹陷一带形成了山麓沉积环境,沉积了以砂砾岩夹砾状砂岩的柳林河组;而盆地西部潼关、芮城一带柳林河组沉积环境仍以浅湖、河流相为主。渐新世晚期,盆地西部抬升,柳林河组遭受大

面积剥蚀。

新近纪,由于崤山次隆的隆升,在盆地东南部的平陆—五亩一带沉积了一套山麓河流相的砂砾岩、砾岩(李万伦等, 2001),在盆地中、西部缺失新近系。之后,盆地经历多次升降过程,在盆地相对下降期自下而上沉积了下更新统(砂砾层、砂层及砂质黏土互层)、中更新统(红黄色、棕黄色黄土类砂质黏土)、上更新统(浅黄色、灰黄色黄土类砂质黏土,中间夹古土壤层)、全新统(近代河流冲积物)等典型的第四系。

三门峡盆地构造演化特征与南华北地区相似,基底主要是太古宇、元古宇深变质的结晶岩系。受秦岭海槽的影响,早古生代基本上为一个广阔的陆表海沉积环境,沉积寒武纪、奥陶纪地层,缺失志留系,晚古生代沉积环境转变为海陆过渡相,沉积了一套石炭纪—二叠纪地层,到中—新生代由于华北地台的活化,古生界受到强烈的改造,并形成了中—新生界的坳陷和隆起(韩宇春和黄晓梅, 1997; 徐汉林等, 2003; 宋佳佳等, 2021)。

5 油气资源前景讨论

综合野外地质调查、构造演化特征,中新世以来经历多次构造运动的改造,致使盆地多次升降,形成了浅湖相、三角洲相等有利的沉积环境。非震广域电磁资料显示,灵宝凹陷为一地堑式次级断陷,边界被两条正断层控制,面积约 250 km²,凹陷内古近系沉积厚度大且连续性好,古近系小安组、坡底组—门里组,由北向南厚度有增厚的趋势(图 3),古近系顶面埋深 0.3~1.8 km(图 4a),底面埋深 2.8~5.5 km(图 4b),厚度变化 2.5~3.5 km。其中,小安组埋深在 1.2~3.3 km,最大厚度可达 2.0 km,平均厚度 1.2 km,坡底组—门里组平均厚度 1.4 km,最大埋深 5.5 km,最小埋深 2.5 km,且都较为连续(图 3)。

同时,野外地质工作在灵宝项城附近发现古近系暗色泥岩、泥页岩厚度达 240 m,泥页岩中有疑似沥青(图 5),新鲜断面有油味。暗色泥岩的有机碳含量分布在 1%~5%,平均值 2.7%,S₁+S₂分布在 0.2~5.1 mg/g,平均值 0.65 mg/g,按照陆相烃源岩的评价标准,综合评价为中—好的烃源岩,镜质体反射率平均值 1.05%,处于生油高峰,具有较强的生烃

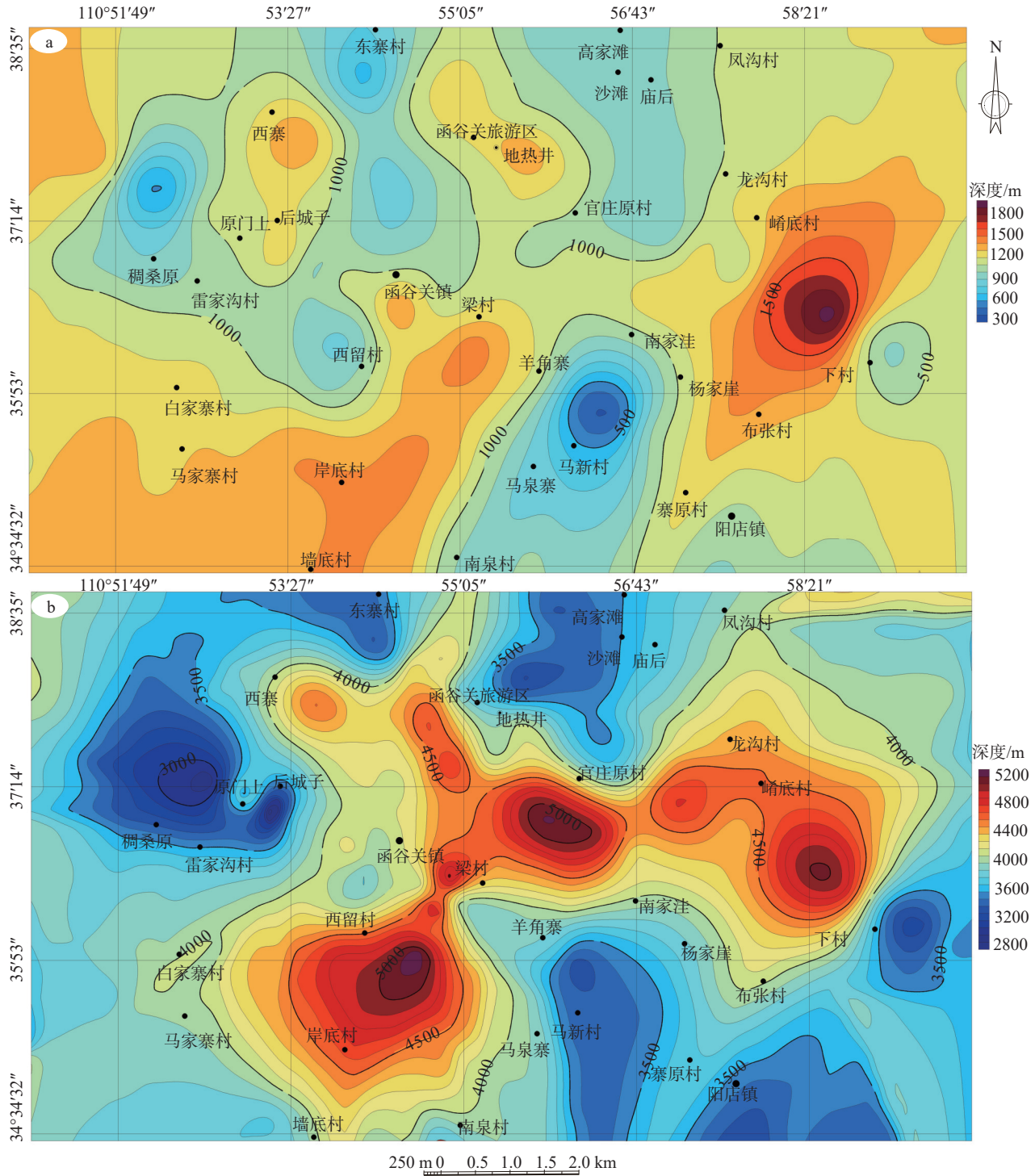


图 4 灵宝凹陷古近系顶面埋深图(a)和底面埋深图(b)
 Fig.4 Buried depth of the top interface (a) and bottom interface (b) of the Paleogene in Lingbao Sag

潜力(刘旭锋等, 2019), 三门峡盆地古近系具有丰富的油源和有利的成藏条件。同时, 在函谷关镇附近地热井函温 1 井见到非常好的油气显示, 井口原油

相对密度 0.84 g/cm^3 , 是含蜡、低硫的轻质原油, $Pr/Ph < 1$, 油源分析认为灵宝凹陷地热井的原油与古近系湖相烃源岩具有亲缘关系(刘旭锋等, 2019), 有

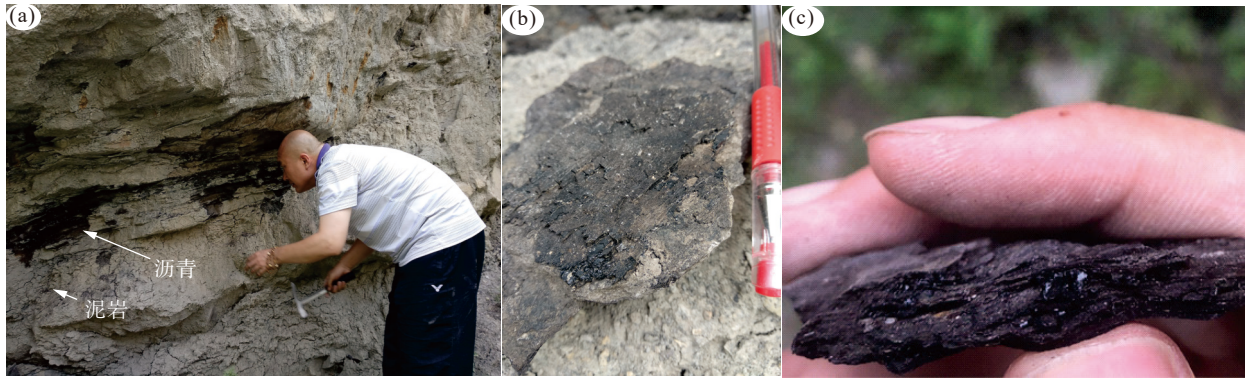


图5 三门峡盆地古近系暗色泥页岩中疑似沥青照片
Fig.5 Photographs of suspected asphalt in Paleogene dark shale in Sanmenxia Basin

机质来源于微咸化环境、藻类等水生生物(Peters et al., 2005; Philp, 2013; 林家善等, 2015; 王丹丹等, 2017), 与渭河盆地地热井原油具有一定的相似性(李玉宏等, 2019), 进一步揭示了三门峡盆地古近系具有一定的油气资源潜力, 值得进一步勘探。

6 结论

(1)三门峡盆地为中新世为主的断陷盆地, 整体呈“五凹两隆”的构造格架。构造演化主要经历了前寒武纪拗陷期、古生代海侵、中生代地堑式断陷期和古近纪断陷盆地 4 个构造演化阶段。

(2)灵宝凹陷为三门峡盆地内的一个地堑式次级断陷, 其边界被小秦岭北部断裂、中条山南麓断裂两条断裂所控制, 古近系顶面埋深 0.3~1.8 km, 厚 2.5~3.5 km, 具有厚度大且连续分布的特点。

(3)灵宝凹陷内古近系暗色泥岩具有一定的生烃物质基础, 目前处于大量生油的成熟阶段, 具备一定的油气资源潜力和良好的成藏条件, 灵宝凹陷是较有利的油气远景区。

References

Bai Taixu, Hou Jianjun, Tang Wei, Wang Yanhui. 1992. Primary study of neotectonics movement and earthquake activity in Sanmenxia basin[J]. *Exploration of Geosciences*, 7(7): 101–106 (in Chinese with English abstract).

Feng Xingxiang. 1982. Neotectonics movement and earthquake activity in Sanmenxia basin[J]. *Journal of Henan Normal University*, (1): 49–55 (in Chinese).

Hu Ke, Jiang Qigang, Zhou Jianbo, Yang Deming. 1996. The Jingning movement of the southern margin of the North China Platform[J]. *Regional Geology of China*, (1): 31–35 (in Chinese with English abstract).

Han Yuchun, Huang Xiaomei. 1997. Structural evolution and hydrocarbon prospects of Paleozoic in southern part of North China[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2(3): 11–16 (in Chinese).

Huang Jichao, Wang Jinshan, Song Gaoju, Zhou Pan. 2012. Analysis of geothermal forming conditions in Zhuyang basin, Lingbao City, Henan Province[J]. *Ground Water*, 34(4): 201–212 (in Chinese).

Jia Haimin. 2016. Sanmenxia city in Henan Lingbao city geology and mineral investigation[J]. *World Nonferrous Metal*, (17): 51–52 (in Chinese with English abstract).

Li Wanlun, Chen Jie, Fan Junxi, Lu Yantao. 2001. Types of magnetic carriers in Late Cenozoic sediments in Sanmenxia Basin, Northerncentral China[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 44(4): 520–527 (in Chinese with English abstract).

Li Xingwen, Zhang Peng, Qiang Xiaoke, Ao Hong. 2017. Rock magnetism study on Loess–Paleosol sequence at Huixinggou section of Sanmenxia Basin[J]. *Advances in Earth Science*, 32(5): 513–523 (in Chinese with English abstract).

Li Yuhong, Gao Gang, Wang Xingyun, Qu Tong, Han Wei, Gong Zhenqi, Zhang Wen, Dang Wenlong. 2019. Characteristics of newly discovered crude oil in the Weihe Basin and its petroleum geological significance[J]. *Oil & Gas Geology*, 40(2): 346–353 (in Chinese with English abstract).

Lin Jiashan, Xie Yuan, Liu Jianqing, Zhao Zhan, Feng Weiming, Zhu Dongjun. 2015. Organic geochemistry of Longli–Kaili oil seepages on the east margin of the Central Guizhou Uplift[J]. *Geology in China*, 42(2): 504–514 (in Chinese with English abstract).

Liu Jin, Chen Xingqiang, Wang Ping, Li Tandong. 2020. Sedimentary characteristics, provenance and tectonic significance of the Sanmen Formation in Weihe–Sanmenxia Basin[J]. *Earth Science*, 45(7): 2673–2683 (in Chinese with English abstract).

Liu Xufeng, Wang Dandan, Zhang Jiaodong, Zeng Qiunan, Zhang Wenhao. 2019. Annual progress report of the petroleum geological survey of the Upper Paleozoic in the southern of North China Basin[R]. *Oil & Gas Survey, China Geological Survey*, 189–220 (in Chinese).

Peters K E, Walters C C, Moldowan J W. 2005. *The Biomarker Guide: Biomarkers and Isotopes in Petroleum Systems and Earth History*[M]. New York: Cambridge University Press, 475–1155.

- Philp R P. 2013. Petroleum formation and occurrence[J]. *Eos Transactions American Geophysical Union*, 66(37): 643–644.
- Song Jiajia, Tian Xiaofeng, Wang Shuaijun, Liu Baofeng, Song Xianghui, Ma Cejun. 2021. Research progress of geological structure in the south North China and adjacent areas[J]. *Progress in Geophysics*, 36(3): 940–952 (in Chinese with English abstract).
- Wang Dandan, Zhou Xingui, Li Shizhen, Zhang Wenhao, Liu Wweibin, Dong Qingshui, Meng Yuanlin, Lin Yanhua. 2017. The study on the oil and gas source of Tonghua basin, East peripheral basin of Songliao: New evidence from the Tongdi No. 1 well[J]. *Journal of Geomechanics*, 23(3): 422–428 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jingxuan. 2013. Study on the regional mineralization and prospecting direction of Lingbao gold deposit, Sanmenxia area[J]. *Journal of Henan Science and Technology*, (5): 28(in Chinese).
- Wang Xianguo, Yang Guohua, Gu Fangying, Sun Chunye. 2018. Evolution mechanism and simulation of chemical composition of groundwater in Sanmenxia basin[J]. *Yellow River*, 40(6): 82–86 (in Chinese with English Abstract).
- Xu Hanlin, Zhao Zongju, Yang Yining, Tang Zuwei. 2003. Structural pattern and structural style of the southern North China Basin[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(1): 27–33 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Guangming. 1993. *Petroleum Geology of China (Vol. 7)* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press(in Chinese with English abstract).
- Zhang Gubin, Wang Xianguo, Luo Xinjie. 2011. Analysis and protection research on formation condition of geothermal water in Sanmenxia Basin[J]. *Yellow River*, 33(7): 81–83 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Ruisheng. 2014. A newly stratigraphic division–correlation of Mesozoic–Cenozoic continental strata of Lingbao basin in Henan Province[J]. *Resources Survey and Environment*, 35(2): 114–119 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wenhao, Tang Dongjie, Yang Ye, Zhang Jiaodong, Liu Xufeng, Wang Dandan, Zeng Qiunan, Liu Weibin. 2021. Sedimentary characteristics and hydrocarbon potential of Meso–Neoproterozoic source rocks in North China Platform[J]. *Geology in China*, 48(5): 1510–1523 (in Chinese with English abstract).
- 白太绪, 侯建军, 唐巍, 王炎辉. 1992. 三门峡盆地的新构造运动与地震活动特征初探[J]. *地学探索*, 7(7): 101–106.
- 冯兴祥. 1982. 三门峡盆地的新构造运动与地震活动[J]. *河南师大学报*, (1): 49–55.
- 胡克, 姜琦刚, 周建波, 杨德明. 1996. 华北地台南缘晋宁运动的初步研究[J]. *中国区域地质*, (1): 31–35.
- 韩宇春, 黄晓梅. 1997. 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*, 2(3): 11–16.
- 黄继超, 王金山, 宋高举, 周攀. 2012. 河南省灵宝市朱阳盆地地热形成条件分析[J]. *地下水*, 34(4): 201–212.
- 贾海民. 2016. 河南省三门峡市灵宝市地质与矿产调查研究[J]. *世界金属*, (17): 51–52.
- 李万伦, 陈杰, 范俊喜, 卢演涛. 2001. 三门峡盆地晚新生代沉积物磁性载体类型[J]. *地球物理学报*, 44(4): 520–527.
- 李兴文, 张鹏, 强小科, 敖红. 2017. 三门峡会兴沟剖面黄土—古土壤序列的岩石磁学研究[J]. *地球科学进展*, 32(5): 513–523.
- 李玉宏, 高岗, 王行运, 屈童, 韩伟, 宫振奇, 张文, 党文龙. 2019. 渭河盆地新发现原油的特征及其油气地质意义[J]. *石油与天然气地质*, 40(2): 346–353.
- 林家善, 谢渊, 刘建清, 赵瞻, 冯伟明, 朱东君. 2015. 黔中隆起东部龙里—凯里地区油苗有机地球化学特征及其成因分析[J]. *中国地质*, 42(2): 504–514.
- 刘瑾, 陈兴强, 王平, 李廷栋. 2020. 渭河—三门峡盆地三门组沉积充填特征、物源区及其构造意义[J]. *地球科学*, 45(7): 2673–2683.
- 刘旭锋, 王丹丹, 张交东, 曾秋楠, 张文浩. 2019. 南华北盆地上古生界油气地质调查 2019 年进展报告[R]. 中国地质调查局油气资源调查中心, 189–220.
- 宋佳佳, 田晓峰, 王帅军, 刘宝峰, 宋向辉, 马策军. 2021. 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*, 36(3): 940–952.
- 王丹丹, 周新桂, 李世臻, 张文浩, 刘卫彬, 董清水, 孟元林, 林燕华. 2017. 松辽外围东部通化盆地油气来源研究—来自通地 1 井的证据[J]. *地质力学学报*, 23(3): 422–428.
- 王景宣. 2013. 三门峡灵宝金矿区域成矿及找矿方向的研究[J]. *河南科技*, (5): 28.
- 王现国, 杨国华, 谷芳莹, 孙春叶. 2018. 三门峡盆地地下水化学成分演化机理与模拟[J]. *人民黄河*, 40(6): 82–86.
- 徐汉林, 赵宗举, 杨以宁, 唐祖伟. 2003. 南华北盆地构造格局及构造样式[J]. *地球学报*, 24(1): 27–33.
- 翟光明. 1993. *中国石油地质志卷七*[M]. 北京: 石油工业出版社.
- 张古彬, 王现国, 罗新杰. 2011. 三门峡盆地地下水热形成条件分析及保护研究[J]. *人民黄河*, 33(7): 81–83.
- 张瑞胜. 2014. 河南灵宝盆地中新世代陆相地层的重新划分与对比研究[J]. *资源调查与环境*, 35(2): 114–119.
- 张文浩, 汤冬杰, 杨焯, 张交东, 刘旭锋, 王丹丹, 曾秋楠, 刘卫彬. 2021. 华北地台中—新元古界烃源岩沉积特征及生烃潜力[J]. *中国地质*, 48(5): 1510–1523.

附中文参考文献

- 白太绪, 侯建军, 唐巍, 王炎辉. 1992. 三门峡盆地的新构造运动与地震活动特征初探[J]. *地学探索*, 7(7): 101–106.
- 冯兴祥. 1982. 三门峡盆地的新构造运动与地震活动[J]. *河南师大学报*, (1): 49–55.