

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2025.103

引用格式: 张交东,周新桂,杨超,等. 三门峡盆地地质矿产勘查历程和油气发现启示[J]. 中国地质调查,2025,12(1): 1-16. (Zhang J D,Zhou X G,Yang C,et al. Exploration history of geological mineral resources in Sanmenxia basin and implications from oil and gas discovery[J]. Geological Survey of China,2025,12(1): 1-16.)

三门峡盆地地质矿产勘查历程和油气发现启示

张交东^{1,2}, 周新桂^{1,2}, 杨超^{3*}, 刘晖^{1,2}, 包书景^{1,2}, 鲁增锋⁴, 张敬凯⁵

(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. 中国地质调查局,北京 100083; 4. 河南省灵宝市自然资源和规划局,河南 三门峡 472500; 5. 河南省地质局,河南 郑州 450000)

摘要: 三门峡盆地为华北陆块南缘以新生界为主的一个小型断陷盆地,自20世纪50年代以来,陆续开展过二维地震和钻井等油气勘探工作,2023年油气调查取得突破。近70 a的勘探历程可分为:石油普查和基础地质调查、公益性油气地质调查、油气突破和潜力评价3个阶段。近年来,公益性油气调查在盆地南缘落实了古近系烃源岩,并取得油气成藏新认识;为进一步查明盆地含油气性,在函谷关构造带优选部署实施豫峡地1井,测井综合解释油层5层,分层试油均获得稳定工业油流,实现了三门峡盆地油气发现;初步估算了三门峡盆地油气远景地质资源量。通过总结三门峡盆地勘探历程和油气突破,获得5点启示:注重一线调查细节,发现潜在烃源岩;综合以往各类资料,加强油气基础地质研究;探索经济适用技术,深化认识查验疑点;地质和工程紧密衔接,促进油气快速突破;央-地-企协同勘查,加快落实资源潜力。三门峡盆地作为我国数量颇多的低勘探程度中小型盆地的代表,由烃源岩发现到快速突破的勘探经验和工作启示,有助于提振周缘久攻未克的渭河盆地和南华北盆地的勘探信心,对于对我国动力学背景类似的中小型盆地油气勘查也具有重要的引领和借鉴意义。

关键词: 三门峡盆地; 豫峡地1井; 勘探历程; 资源远景; 油气发现启示

中图分类号: P618.13; P624.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2025)01-0001-16

0 引言

三门峡盆地是华北陆块南缘豫西隆起上一个中—新生界小型断陷盆地,以往勘探没有发现油气和有效烃源岩^[1]。近年来,通过公益性油气调查,取得了油气发现和突破^[2],预示着一个新的含油气盆地的诞生。

我国分布数百个中小型沉积盆地^[3],已在二连和苏北等11个中小型盆地(Ⅱ类)发现油气田并具有一定开发规模,彰武和三水等11个中小型

盆地(Ⅲ类)也有少量油气生产或探明储量^[4],绝大多数中小型盆地油气勘探程度很低,未取得发现或突破^[5]。对该类盆地油气资源潜力和勘探开发价值,既有“天生盆地必有油”“小而肥”和“小而富”等积极认识,也存在面积小、埋藏浅、地质条件复杂等勘探难点^[5]。三门峡盆地历经近70 a勘探,由不太受油气勘探关注的“红盆”,到逐步实现高产轻质油流突破,既展示了中小盆地油气勘探的前景,也体现了找矿工作的艰难和曲折,引起了行业和社会的关注^[2],即在地质条件相似的南华北和渭河等盆地尚未突破的情况下^[1,6-7],为

收稿日期: 2025-01-26; 修订日期: 2025-02-18。
基金项目: 中国地质调查局“三门峡盆地及鄂尔多斯南缘盆地群油气调查评价(编号: DD20230262)”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: 34550000-21-FW0399-0002)”联合资助。
第一作者简介: 张交东(1968—),男,教授级高级工程师,主要从事油气勘查及区域构造综合研究。Email: 644184823@qq.com。
通信作者简介: 杨超(1988—),男,高级工程师,主要从事油气勘查和战略综合研究。Email: yangchao_cgs@mail.cgs.gov.cn。

什么面积不大、以往勘探没有油气和烃源岩发现的三门峡盆地获得油气突破? 资源远景如何? 其勘探历程有何经验启示? 为此, 本文总结三门峡盆地以往地质勘查历程, 分析其资源远景, 探讨了相关经验启示, 以期唤起行业和社会对中小型盆地的新关注, 对久攻未克的南华北和渭河等中小型盆地勘查具有借鉴和指导意义。

1 盆地概况

三门峡盆地位于豫、晋、陕三省接壤部位^[1](图1), 北至中条山, 南抵小秦岭, 东至崤山, 西与渭河盆地

相连, 为四周高、中间低的山间盆地, 平均海拔高度400~900 m; 盆内西部和中部普遍为第四系沉积或黄土覆盖, 东部为丘陵和山地, 黄河自西而东纵穿盆地中部, 盆地面积约4 500 km²。

三门峡盆地在区域构造上位于华北陆块南缘的豫西隆起(图1), 东侧为南华北盆地群, 西侧为渭河盆地和鄂尔多斯盆地, 北侧为中部造山带, 南侧为秦岭—大别造山带^[9-11]。

根据基底起伏和地层展布等资料, 目前较多文献采用“五凹两凸”的构造划分观点(图2): 潼关

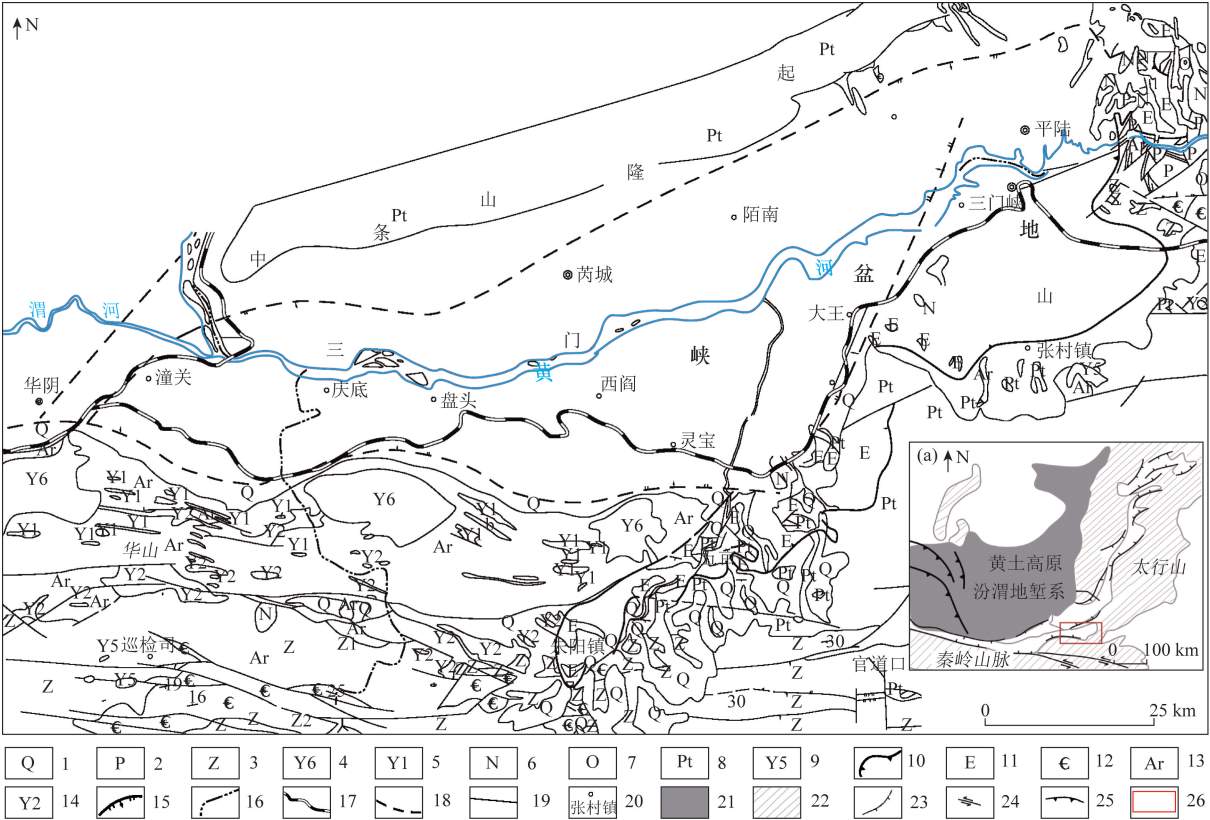


图1 三门峡盆地地质简图^[8]

Fig.1 Regional geological sketch map of Sanmenxia basin^[8]

凹陷、盘头凸起、芮城凹陷、中央凸起、灵宝凹陷、平陆凹陷、五亩凹陷^[1,12]。中条山南断裂、华山北断裂(也称文底—官前断裂)、大营—川口断裂、潼关塬—中条山西缘断裂等深大断裂对盆地形成演化具有明显的控制作用^[1,13-17], 已有钻井和地面露头显示, 前中生界盆地基底主要为太古界—元古界结

晶变质岩系和寒武系、奥陶系、石炭系—二叠系等古生界沉积地层^[1], 上覆下白垩统白湾组(K₁b), 上白垩统南朝组(K₁n), 古近系门里组(E₁₋₂m)、坡底组(E₂p)、小安组(E₂x)和柳林河组(E₃l), 新近系和第四系等^[18-21], 盆缘和盆内高地形普遍为黄土覆盖, 沟洼处见古近系等露头。

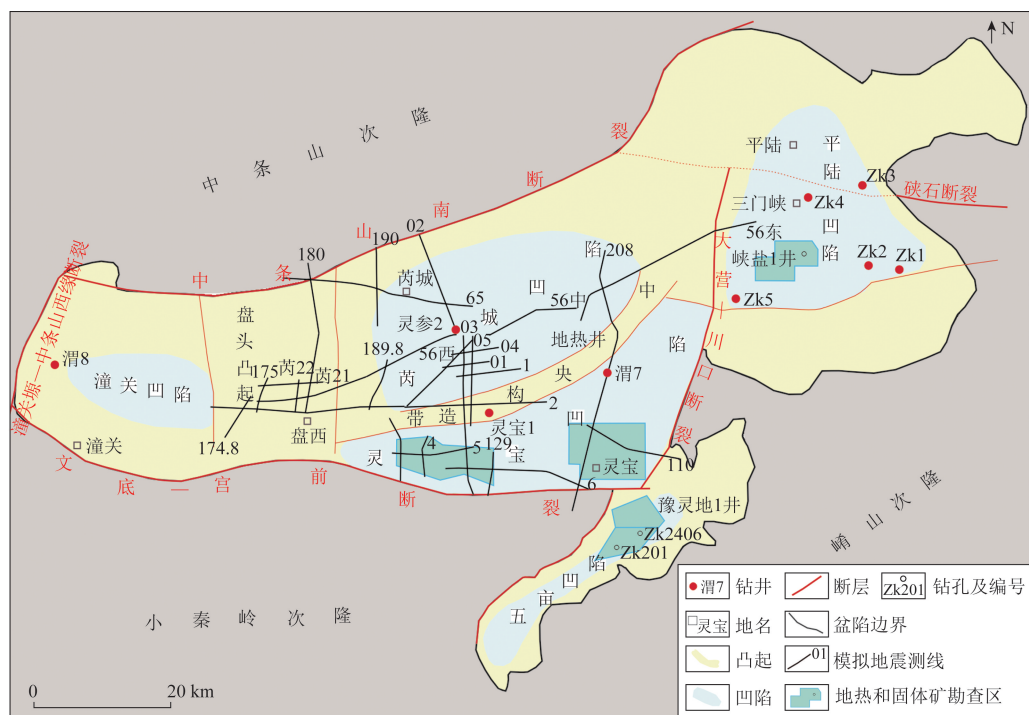


图 2 三门峡盆地石油普查和基础地质调查工作程度

Fig. 2 Map of petroleum prospecting and basic geological survey degree in Sanmenxia basin

2 地质勘探历程

三门峡盆地地质勘探始于 20 世纪 50 年代,勘探程度低^[1,22-56],其勘探历程总体上分为 3 个阶段。

2.1 石油普查和基础地质调查阶段

该阶段时间为 1956—2017 年,先后十多家单位在三门峡盆地及周边开展基础地质调查和油气、煤、油页岩、金矿、岩盐、地热等矿产勘查^[22-44],工作方法涉及地面调查、重磁电震、化探、钻井和综合研究及编图等,投入了较多工作,初步查明了地层、构造及其边界断裂等区域地质特征,初步分析了三门峡盆地沉积地层、油气地质条件、构造单元划分和形成演化及油气钻探情况等,为后续工作奠定了地质基础。

该阶段地质工作具有时间跨度大、参与单位多、工作目标多样、资料分散、探测深度浅、数据品质差异明显、项目连续性差、单项工作量小等特点(图 2)。受当时技术方法和地质理论等限制,三门峡盆地油气地质工作程度低,油气显示和烃源岩不明,勘探工作断续进行,油气地质研究比较零散,石油勘探处于停滞状态。

20 世纪 50 到 60 年代,陕西省地质局和山西省地质局先后完成了 1:20 万三门峡幅等与三门峡盆

地相关的区调工作,原北京地质学院(现中国地质大学(北京))、河南省地质局和湖北省地质科研所对三门峡盆地南部边缘古近系进行过研究^[1,22-24]。

1960 年,河南省地质局豫 07 队对五亩乡项城矿区进行了煤和油页岩普查工作^[25],发现薄煤层和煤线,夹少量薄层油页岩,在项城一带有薄煤层 3~5 层,最厚为 0.6 m,其生烃前景不明。

1964—1967 年,原地质部第三普查大队对汾渭盆地、三门峡盆地进行了石油勘查工作^[26],完成电测深剖面 4 条 120 km,编制 1:20 万基岩埋深图并钻探了渭 7 井(1 206.6 m)和渭 8 井(921.64 m),证实有古近系存在(未钻穿),并依据孢粉化石对汾渭盆地及三门峡盆地地层进行对比研究及划分,初步探讨了盆地的含油性。

1970—1972 年,河南省地质局在平陆凹陷南部(现在三门峡市交口乡一带)开展过 61 个电测深点,编制了基岩埋深图。依据这些资料,钻有 5 口井(ZK1~ZK5),井深 565.69~866.7 m,证实古近系发育一定厚度的暗色泥岩^[1]。

1973 年,河南省地质局地质十二队完成《河南省主要构造体系与中生代盆地构造特征》^[27],根据电测深成果解释,对三门峡盆地基底形态、古近系埋深进行了推测。

1975—1978 年,河南石油会战指挥部地质勘探开发研究所根据以往三门峡盆地油气地质工作,编写《对三门峡盆地第三系的初步认识及勘探工作建议》^[28],通过以往钻孔获取的岩心及孢粉化石资料,经与南阳凹陷、东濮凹陷地层及化石资料对比,划分了三门峡盆地古近系各组的地层及岩性。

1978 年,河南省地质局地质科学研究所利用河南省覆盖区重磁测量、水文地质、石油地质普查成果以及数十个深钻孔资料,编制《河南省基岩地质图》(1:50 万)及《河南省基岩地质图说明书(前新生界)1:50 万基岩地质图》^[29],对三门峡盆地覆盖层厚度、覆盖层以下基岩埋深进行了标识。

1977—1980 年,南阳油田完成重力普查 4 500 km²,江汉油田和石油物探局第二指挥部等单位在芮城凹陷、中央构造带和灵宝凹陷等地完成模拟地震测线 299.3 km,完成灵参 1 井(井深 3 200.59 m)和灵参 2 井(井深 3 011.15 m),揭露了近 2 000 m 古近系(未钻穿),全为红色砂泥岩互层^[1,30-31];虽然灵参 2 在井深 1 624 ~ 1 636 m、2 190 ~ 2 203 m 发现气测异常,但怀疑可能与该井在处理事故时注入过量柴油和原油有关^[31],因此,分析认为该地区缺少生油条件,石油勘探工作暂时中止^[1]。

1980 年,河南省地质局地质科学研究所完成《河南省构造体系与地震图说明书(1:50 万)》^[32]编写工作,对河南省主要构造体系、构造运动、活动性构造带进行了论述,并对涉及本区的活动断裂进行了分析。

1988 年,地质矿产部华北石油地质局地质研究大队完成《华北地区石油地质成果图(中、新生界)说明书(1:100 万)》^[33],对华北地区地层、构造体系、构造运动、生油岩系、储油岩系及盖层分布、油藏类型进行了叙述。

1990—1993 年,河南省地矿厅地调一队开展了 1:5 万太峪口东半幅区域地质矿产调查工作^[34],认为小秦岭金矿田由太要断裂(与盆地南缘控盆断裂位置相当)及小河区域性断裂围限,主要出露太古代花岗岩-绿岩,整体形态为一近 EW 向复背斜,断裂构造发育。

1991—1992 年,河南省地矿厅地调一队受灵宝市地矿局委托,在灵宝市东南部 1 054 km² 的范围内进行 1:5 万地球化学找矿工作^[35],初步调查该区地球化学特征。

1991—1995 年,河南省地矿厅区调队开展 1:5 万朱阳镇幅(五亩凹陷内)区域地质调查工作^[36],

查明了该区地层特征和断裂分布。

1994—1996 年,河南省地矿局地球物理勘查队完成三门峡—灵宝地区 1:20 万区域重力调查^[37],圈出三门峡盆地(相当于现在平陆凹陷)、灵宝盆地(相当于现在灵宝凹陷)和五亩—朱阳镇盆地(相当于现在五亩凹陷)分布范围和构造特征。

2006—2008 年,河南省地质矿产勘查开发局地球物理勘查队在灵宝市五亩—川口—尹庄一带开展煤预查工作,实施 2 个钻探工程及物化探等工作,基本查明工作区内地层层序、厚度、埋深和构造形态;认为工作区为薄层劣质煤、上覆新生界最大厚度超 1 km^[38-40]。

2007 年,河南省地质矿产勘查开发局第二水文地质队开展灵宝城区地热勘查^[41],测得井口最高温度为 52 ℃,储水层为古近系砂岩,属于地热异常区,高地温梯度对烃源岩成熟具有重要意义。

2011—2015 年,河南省航空物探遥感中心开展小秦岭北麓覆盖区金矿预查^[42],基本查明太要断裂空间分布、小秦岭北麓隐伏区(灵宝凹陷南部)构造轮廓、推断新生界底板地震反射界面超过 3 000 m。

2017 年,河南省地质矿产勘查开发局在三门峡市交口地区(即平陆凹陷南部)开展岩盐矿预查^[43-44],认为坡底组上部广泛分布,为一套泥灰岩、石膏层、泥岩、粉砂质泥岩组合的咸湖相沉积地层^[38]。

2.2 公益性油气地质调查阶段

该阶段时间为 2018—2021 年(图 3),主要为国家财政经费支持的公益性油气基础地质调查,以五亩项城暗色泥质岩类为切入点,开展了野外调查、测试分析化验和少量盆地结构探测等^[12,50-53],较为系统地梳理了以往各种勘查资料,重点梳理出与石油勘探有关的信息^[37-49],通过油气地质条件综合分析研究,明确了潜在烃源岩和油气显示,圈定了远景区,为下一步油气勘查部署提供了依据。

2018 年,中国地质调查局通过技术论证并报财政部审批,设立南华北公益性油气地质调查项目,由中国地质调查局油气资源调查中心承担。

2019 年 4—8 月,中国地质调查局油气资源调查中心在河南济源、洛阳、三门峡和山西中条山等地区开展野外调查^[45],完成了野外路线调查 300 km、剖面实测 3 km,在三门峡灵宝市五亩乡发现古近系厚层连续暗色泥质岩类露头(图 4),新鲜的露头有微弱汽油味,推测可能存在潜在烃源岩。室内分析化验表明,该层泥岩地化指标达到了烃

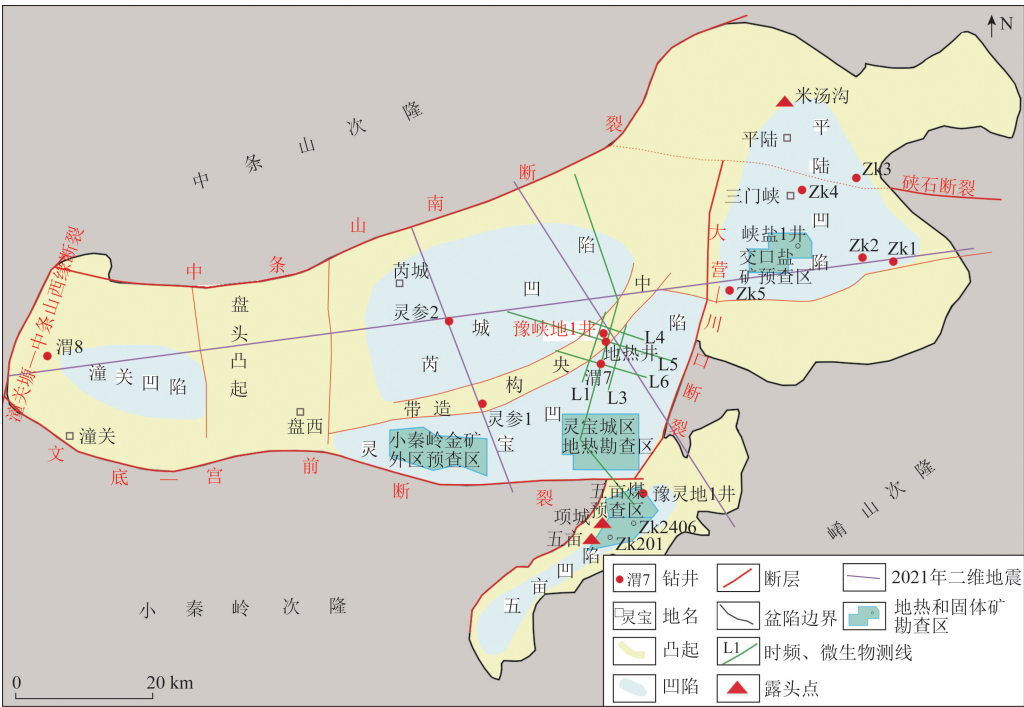


图 3 三门峡盆地公益性油气调查工作程度

Fig. 3 Public – benefit oil and gas survey degree in Sanmenxia basin



图 4 三门峡盆地南部五亩—项城露头剖面

Fig. 4 Photograph of Wumu – Xiangcheng outcrop section in the southern Sanmenxia basin

源岩要求,且富含腹足类、介形类等化石;结合以往油气勘探和煤田勘查等资料分析^[1,30–31,38],通过露头岩性、沉积旋回、孢粉和岩性等对比分析,认为项城组的下部和上部地层分别对应小安组和坡底组,其地层特征、沉积环境与南阳凹陷核桃园组具有相似性,推测五亩—项城地区具备形成烃源岩的基本条件。

2019 年 9—10 月,中国地质调查局油气资源调查中心在露头北侧的灵宝凹陷实施了 40 km 电法勘查,发现灵宝凹陷高阻基底埋深最大可达

6 000 m 以上,基底之上存在一套层状展布的低阻层。并进一步开展了三门峡盆地北缘烱源岩路线调查 200 km,也发现了暗色泥岩,由此推测盆地内部可能发育一定规模烱源岩^[12]。

2019—2020 年,中国地质调查局油气资源调查中心协同河南省煤田地质局资源环境调查中心等单位对三门峡、灵宝及邻近渭南地区华山—小秦岭—崤山山前的 10 多口地热井开展资料收集和分析^[7,41,46–49],发现 3 口井有含蜡、低硫、轻胶质原油显示^[7,49],地温梯度达 3.5 ~ 4.0 °C/100 m,推测深部烱源岩达到生烱门限温度,认为盆地内部可能存在生烱过程^[45]。

2020 年,中国地质调查局油气资源调查中心协同河南省航空物探遥感中心开展三门峡盆地南部重磁处理解释工作,初步圈定了潼关、阳平、灵宝和故县 4 个重磁剩余负异常区,沿大营—川口断裂和华山北断裂下降盘依次呈串珠状分布,推测该区域新生界沉积厚度大、可能为烱源岩发育区^[37,45]。

2021 年,中国石化华北油气分公司协同中国地质调查局油气资源调查中心实施了豫西—渭河盆地二维地震区域勘探,其中三门峡盆地完成测线 3 条^[50–53],构建了三门峡盆地地震—地质大剖面 3 条,厘清了三期构造演化过程及构造—沉积响应关

系,提出了中央构造带发育 3 套可能油气成藏组合,初步圈定 4 个油气有利远景区^[45]。

2.3 油气突破和评价阶段

该阶段时间自 2022 年开始至今,按照中国地质调查局新一轮找矿突破战略行动整体部署,在油

气基础调查圈定远景区的基础上,以油气发现或突破为目标,重点开展油气成藏要素分析,部署钻探和试油,实现了油气突破,并通过央地企联合,钻探评价井(图 5),敦实了资源基础,开启了三门峡盆地油气勘探开发序幕。

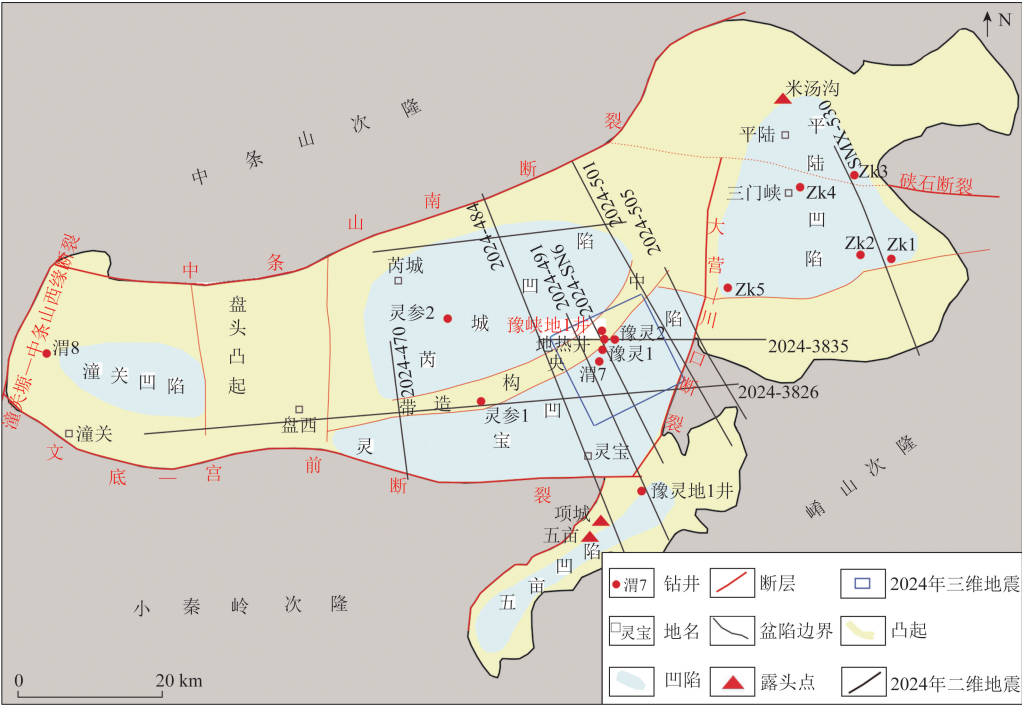


图 5 三门峡盆地油气突破和评价工作程度

Fig. 5 Hydrocarbon breakthrough and evaluation dgree in Sanmenxia basin

2022 年,中国地质调查局油气资源调查中心实施三门峡盆地及周缘油气地质调查课题,部署时频电磁勘查和微生物油气检测测线长度 110 km。同年 5—8 月,协同四川省核工业二八二大队、盎亿泰地质微生物技术(北京)公司完成构建了贯穿盆地的 SN 向电性剖面,分析了函谷关构造带电阻率、激化率异常和油气微渗漏异常特征^[54]。

2022 年 9—11 月,中国地质调查局油气资源调查中心根据时频电磁勘查和微生物油气检测成果,在五亩乡风脉寺村部署豫灵地 1 井(小口径全取心地质调查井),以期揭示烃源岩。协同山东省煤田地质规划勘察院于 2022 年 10 月 11 日开工,当年 11 月初完工,完钻井深 599 m,钻遇了小安组烃源岩^[54]。

2023 年,中国地质调查局油气资源调查中心实施三门峡盆地及鄂尔多斯南缘盆地群油气调查评价项目。综合分析了可能的生储盖组合和油气成藏要素,认为芮城凹陷和灵宝凹陷之间的函谷关构

造带具有临近北侧深洼的潜在烃源岩发育区、多级断裂疏导、低凸起边部砂体易发育、构造部位适中等有利成藏条件,提出了井位部署建议并通过专家评审和上级审批^[55]。

2023 年 9—11 月,中国地质调查局油气资源调查中心部署豫峡地 1 钻井(设计井深 2 200 m)和常规综合录井及取心工作,协同河南省资源环境调查三院、河南省灵宝市自然资源和规划局及中石化经纬公司华北测控分公司等单位,于 2023 年 9 月 23 日至 2023 年 10 月 29 日施工,钻获了古近系良好的油气显示^[55]。

2023 年 12 月,中国地质调查局油气资源调查中心综合钻测录和分析化验等资料,优选豫峡地 1 井 9~11 号油层,协同中国石化华北工程公司、河南省灵宝市自然资源和规划局等单位开展 DST/地层测试,24 h 井口自喷纯油 17.13 m³^[55]。

2024 年,中国地质调查局油气资源调查中心实施豫西地区中小盆地油气基础地质调查项目,重点

对豫峡地 1 井开展系统试油,并和河南省地质局联合实施了三门峡盆地油气资源接续基地调查评价(河南部分)项目,地震和评价井等相关工作正在实施中,已初步取得良好成果^[2,56]。

3 资源远景

3.1 豫峡地 1 井油气发现

豫峡地 1 井为 1980 年以来三门峡盆地首口油



气钻井,位于三门峡市灵宝市函谷关镇沙坡村西南,完钻井深 2 299.88 m,钻遇地层为新生界第四系全新统(Q)、新近系(N)、古近系柳林河组(E₃l)、古近系小安组(E₂x,未钻穿)。

取心 4 筒,累计心长 28.17 m,以红褐色泥岩、灰褐色砂质泥岩为主,夹泥质粉砂岩和灰色细砂岩,部分岩心见高角度裂缝(图 6);含油砂岩岩心累计 6.78 m,含油岩心表面积占总表面积的 50%~70%,原油味浓,易染手,滴水试验不渗—缓渗,呈珠状、半珠状。



图 6 豫峡地 1 井含油岩心(深度 2 029.4~2 029.8 m)和裂缝照片

Fig. 6 Photographs of oil-bearing core with depth of 2 029.4~2 029.8 m and fractures from well Yuxiadi-1

按照石油行业相关规范,气测录井揭示气测异常显示 12 层,累计视厚 31.52 m;地质录井揭示含油砂岩 24.52 m/8 层;测井综合解释油层 5 层/累计视厚度 20.8 m(图 7,图 8),差油层 2 层,累计视厚度 5.6 m,测井解释孔隙度 13.43%~20.6%、渗透率 $(35.1\sim215.5)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

2023 年 12 月,按照 DST 地层测试标准和技术方法,采用二开二关的射孔—测试联作方式,进行下部油层组含油气性测试,井口间歇性自喷,24 h 产液 17.13 m³,不含水,获得油气发现。

2024 年,进行机抽求产(图 9),分 3 个油层组(下部、中部和上部)获取产能参数,稳压 72 h,平均日产液分别为 15.83 m³、6.79 m³、4.91 m³,不含水,累计总产油 399.22 m³。

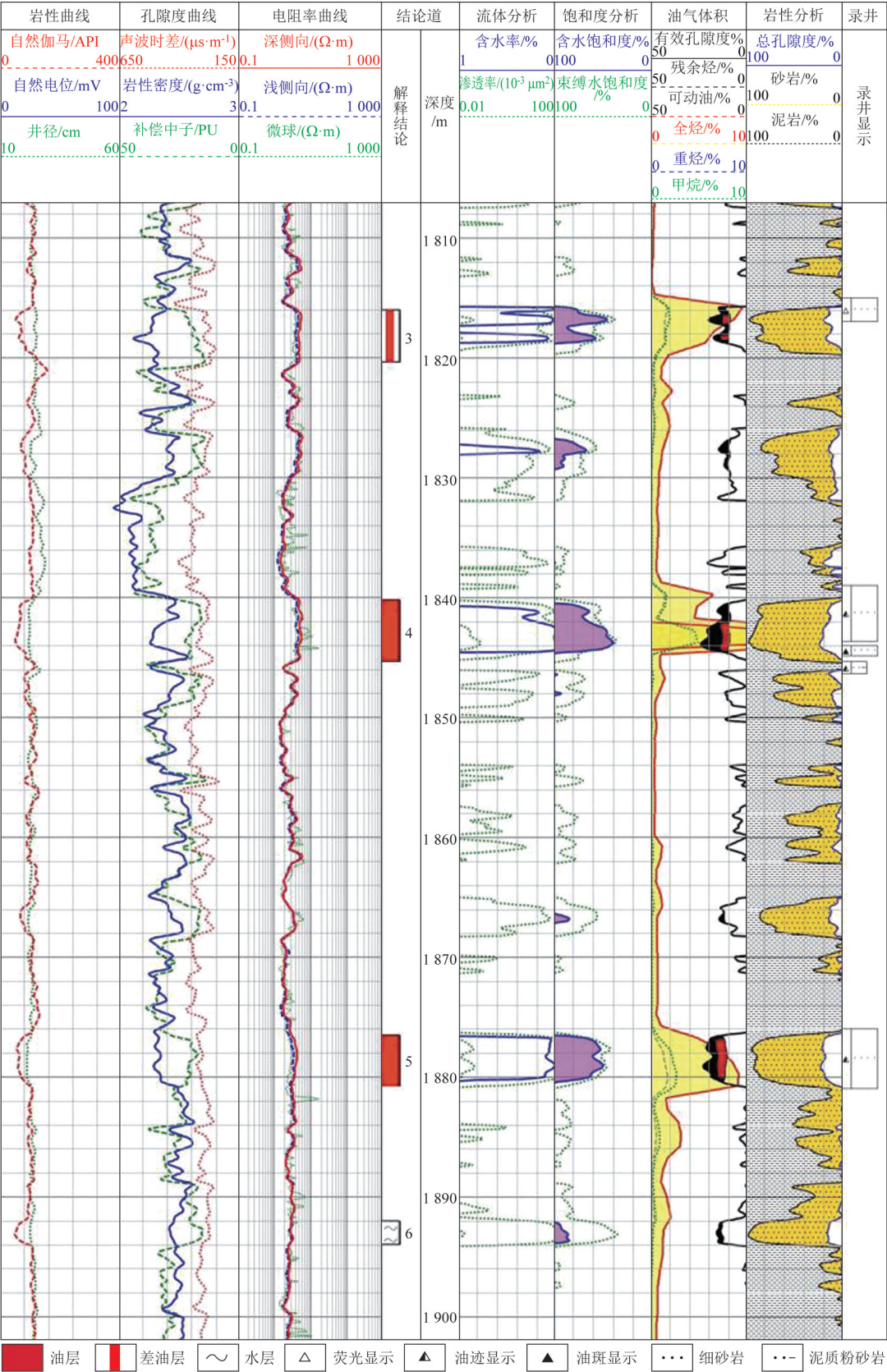
3.2 常规油气远景

豫峡地 1 井所在的函谷关构造带位于芮城凹陷和灵宝凹陷之间,构造形态明显,整体呈断层复杂化的低凸起,多条正断裂沟通潜在油源区,极化率

异常和油气微渗漏异常明显,为有利油气聚集区。

在豫峡地 1 井发现的基础上,2024 年实施 2 口评价井,均获纯油稳产,豫灵 1 井稳定日产油 15.5 m³;豫灵 2 井第一试油层段(2 238.1~2 253.8 m)自喷稳定日产油 31.62 m³,第二试油层段(2 186.3~2 211.8 m)机抽稳定日产原油 92.52 m³。

上述 3 口井试油全部实现常规纯油稳产,表明函谷关构造带具备较好的油气勘探开发潜力。受工作程度低、生烃规模不落实、盆地面积小等因素制约,目前还难以准确评价三门峡盆地整装油气资源潜力。根据有限的地震和钻井等资料,结合近年来有关多凹多凸、深凹咸化、烃源岩及初步圈定的远景区等初步认识^[12],采用类比法初步估算三门峡盆地油气远景地质资源量为 4.27 亿 t。尽管该数据与前人认识相近^[4],且函谷关构造带资源潜力也得到一定程度的落实,但函谷关构造带以外的区域地震控制程度还很低,其含



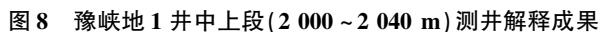


Fig.8 Interpretation results of well logging in the middle and lower section (2 000 ~ 2 040 m) of well Yuxiadi - 1

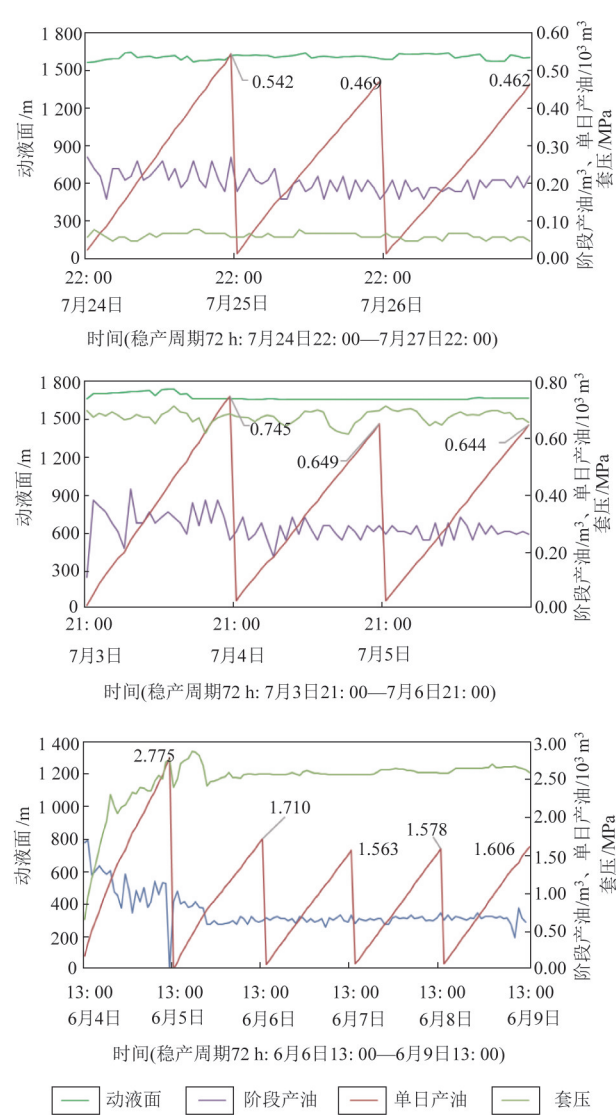


图9 豫峡地1井分层试油机抽求产图

Fig.9 Multi-layer oil testing and pumping production diagram of well Yuxiadi - 1



(a) 石膏手标本



(b) 野外露头

图10 山西平陆米汤沟石膏露头照片

Fig.10 Photographs of the gypsum outcrop at Mitanggou of Pinglu in Shanxi Province

油气性还需要钻探证实,一些成果认识还需要新的证据衔接,深层地震反射特征也不够清晰,诸如盆地原型、深部结构和形成演化机制,以及其与渭河盆地构造的关系等一些基础地质问题还有待深入探讨。

3.3 多种资源远景

古近纪为三门峡盆地形成发育的主要时期,以往研究表明该时期三门峡一带为干旱-亚热带和半潮湿-半干旱的过渡性气候^[1,12]。受气候、沉积和构造等条件控制,盆地不同构造单元分别沉积了不同岩性组合的地层单元类型,具备煤、油页岩和蒸发盐等沉积矿产的形成条件^[21,24-25,38,40],这些资源在类似地质背景的渤海湾盆地、南阳凹陷、舞阳凹陷等中皆有发育^[57-60],只是富集程度有差异。以往勘探历程显示,多家单位在三门峡盆地开展煤、油页岩和岩盐及地热调查^[21,24-25,38,40],野外调查也发现煤、油页岩和石膏露头(图10),厚度较薄,平陆石膏和灵宝煤层曾尝试过进行开采,灵宝地热资源近几年已开始被局部开发利用。

此外,三门峡盆地及周缘新构造活动强烈,中条山南断裂、华山北断裂、大营-川口断裂、潼关塬-中条山西缘断裂等大断裂切割深^[1,13-17],浅层(第四系黏土和新近系泥岩)覆盖条件好,地下热流活跃,具备良好的地热资源,为河南省高温地热异常发育区^[48]。

受勘探程度限制,上述资源目前只发现了一些找矿线索,其调查勘查程度类似于石油普查阶段,具备基本地质条件,但目前勘探进展不足以支撑大规模开发利用。随着油气勘探程度的逐步深入,可考虑多种资源兼探,以期综合开发利用。

4 讨论

4.1 注重一线调查细节,发现潜在烃源岩

三门峡盆地以往油气地质工作程度低,没有发现油气显示和有效烃源岩,自1980年以后石油勘探基本处于停滞^[1]。烃源岩是制约三门峡盆地油气勘探的关键问题。

2019年,中国地质调查局油气资源调查中心在三门峡灵宝市五亩乡发现古近系暗色泥质岩类露头,1961年原北京地质学院豫西地层队将其命名为项城组($E_{1-2}x$,也称项城市群)^[20],前人对此露头也进行过一些烃源岩、煤层、油页岩等方面的研究^[25-28],但受技术条件和地质理论等限制,当时一些地质认识难以支撑三门峡油气勘探需要。为此,中国地质调查局油气资源调查中心围绕该露头开展了详细调查和分析化验,地化指标显示达到了烃源岩要求,初步判断为潜在烃源岩,为后续油气调查工作提供了切入点。

4.2 综合以往各类资料,加强油气基础地质研究

灵参1井和灵参2井位于三门峡盆地中央位置,钻探深度超过3 000 m,没有发现油气和烃源岩^[1]。尽管在盆缘发现了潜在烃源岩露头,但盆地内部是否存在生烃过程尚不能确定。

以往勘查历程显示^[18-53],几十年来先后开展过基础地质调查和油气、煤、油页岩、金矿、岩盐、地热等勘查,积累了地面调查、重磁电震、化探、钻井和综合研究及编图等丰富资料。尽管受技术条件和地质理论等限制,当时的一些资料比较分散、时间跨度较大,早期一些成果综合分析利用程度较低,但其原始资料可为油气地质条件的综合分析和前期判断提供依据。

在公益性油气地质调查阶段,综合分析了以往区域地质、油气勘探和煤田勘查等资料。首先,三门峡盆地处于秦岭、太行山等之间,与南襄盆地等具有相似的伸展-拉张动力学背景^[1];其次,露头岩性、沉积旋回、孢粉和岩性等对比分析显示,项城组地层特征、沉积环境与南阳凹陷核桃园组具有相似性^[58-59],推测具备形成烃源岩的基本条件;第三,重磁处理解释工作初步圈定了潼关、阳平、灵宝和故县4个剩余负异常区,沿大营-川口断裂和华山北断裂下降盘依次呈串珠状分布^[37,45],推测该区域新生界沉积厚度大,可能发育一定规模烃源岩,

并得到小秦岭北缘金矿深部预查地震反射特征的支撑^[42];第四,对烃源岩可能发育区附近地热井资料收集和复查,发现其中3口地热井有原油显示^[7,49],地温梯度达 $3.5 \sim 4.0$ $^{\circ}\text{C}/100$ m,推测深部烃源岩达到生烃门限温度;第五,诠释了以往没有发现烃源岩的疑问,灵参1井和灵参2井远离烃源岩可能发育区^[45],其没有钻遇烃源岩并不能证明三门峡盆地不发育烃源岩,结合五亩煤预查钻孔和交口岩盐钻井岩心发育厚层暗色泥岩,推测盆地内部的沉降中心可能发育一定规模烃源岩,并可能存在生烃过程,为后续工作部署提供了依据。

4.3 探索经济适用技术,深化认识查验疑点

公益性油气调查属于油气矿权区以外的基础性地质调查,油气工作程度普遍较低,制约油气勘探的瓶颈问题、关键问题和工作难点复杂多样,同时公益性调查单体项目费用有限,因此需要针对不同问题,探索优选经济适用、快捷方便的技术方法。

针对以往没有发现油气显示和烃源岩、调查方向不明等问题,从野外露头调查入手,先后开展了对以往各种地质资料综合分析、电法勘探、地热井油气显示复查、重磁资料重新处理解释等工作,发现了五亩和交口钻井岩心发育厚层暗色泥岩、灵宝-渭南地区地温梯度高、3口地热井个别层位出水见轻质油显示、灵宝凹陷高阻基底之上存在埋藏较深的层状沉积岩低阻异常等油气线索^[37,42,45],结合类似盆地油气富集特征^[57-59],明确了盆内潜在烃源岩可能发育区,并部署小口径全取心地质调查井(井深599 m)进行验证。

为验证盆内含油气性,选用面向油气检测的低成本的时频电磁和微生物勘查,依据函谷关构造带深部极化率异常和地表油气微渗漏异常特征^[45],部署了深度适中的豫峡地1井,并选用射孔直接求产且简单经济的DST地层测试,获得油气突破,形成了重磁扫面-地震定凹-时频电磁选带-微生物检测的技术方法体系,支撑了低勘探程度中小盆地经济高效油气调查。

4.4 地质和工程紧密衔接,促进油气快速突破

随着我国社会经济发展,对油气资源需求日益迫切,为加快推进油气调查突破、支撑资源保障能力,在中国地质调查局统筹协调下,中国地质调查局油气资源调查中心组建地质和工程一体化项目工作团队,开展目标优选和井位设计研究,同步开展选址协调工作,以便技术论证和审批后立即

组织施工。面对地层松软、裸眼井段长和首口钻井地质情况不明等难点,现场人员提出了弱固结地层、低成本的优快钻井技术,同步开展现场跟踪地质研究和取样分析等,保障了钻探成果及时总结验收和试油技术方案快速推进,实现了地质和工程紧密衔接,整体工作规范有序,历时 55 d (2023 年 9 月 23 日钻井开工到 12 月 16 日井口自喷轻质原油)完成了钻井和地层测试,促进了豫峡地 1 井快速突破。

4.5 央-地-企协同勘查,加快落实资源潜力

2024 年,在豫峡地 1 井油气突破后,为系统获取小安组含油层段产能参数、评价油气资源潜力,在自然资源部和河南省政府及中国地质调查局统筹协调下,中国地质调查局油气资源调查中心与河南地质局联合实施了三门峡盆地油气资源接续基地调查评价项目,按照“整体规划、分步实施、突出重点、面上展开”原则,部署实施了地震、评价井和试油及综合研究等一系列工作,形成“政府主导、公益先行、商业跟进、科技引领、快速突破”的央地企协同联动机制,3 口井试油全部实现常规纯油稳产^[56],提升了函谷关构造带资源可靠性,初步估算三门峡盆地远景地质资源量为 4.27 亿 t^[2],为后续油气区块出让和勘探开发奠定地质基础。

5 结论及意义

(1)近年来,公益性油气调查在盆地南缘落实了古近系烃源岩并取得了一些油气成藏新认识,为查明其含油气性,在函谷关构造带部署实施豫峡地 1 井,优选良好油气显示的 5 个储层,分 3 个油层组进行分层试油,获得稳定日产液分别为 4.79 m³、6.79 m³、15.83 m³ (不含水),实现三门峡盆地油气发现。

(2)三门峡盆地近 70 a 的勘探历程,可分为石油普查和基础地质调查、公益性油气地质调查、油气突破和潜力评价 3 个阶段,其突破过程有 5 点启示:注重一线调查细节,发现潜在烃源岩;综合以往各类资料,加强油气基础地质研究;探索经济适用技术,深化认识查验疑点;地质和工程紧密衔接,促进油气快速突破;央-地-企协同勘查,加快落实资源潜力。

(3)我国分布数百个中小型沉积盆地,绝大多

数中小型盆地油气勘探程度很低,未取得发现或突破。三门峡盆地的油气发现唤起了业内对中小型盆地的新关注,由烃源岩发现到快速突破的勘探经验和工作启示,有助于提振邻近的渭河盆地和南华北盆地的勘探信心,对于我国动力学背景类似中小型盆地油气勘查也具有重要的引领和借鉴意义。

致谢:在三门峡盆地油气调查和发现工作中,中国地质调查局、河南省自然资源厅、中国地质调查局油气资源调查中心、河南省地质局、河南省灵宝市委市政府及自然资源和规划局、中国石油化工股份有限公司华北油气分公司、河南省资源环境调查三院、四川省第九地质大队、中国石油化工股份有限公司华北石油工程公司等单位的领导、专家和同事做出了积极贡献,在此一并致谢。本论文内容仅限于学术研究和讨论。

参考文献 (References):

- [1] 中原油田石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志. 卷七. 中原·南阳油田. 上册 中原油田 [M]. 北京:石油工业出版社, 1993:337-347.
Editorial Committee of Petroleum Geology of Zhongyuan Oilfield. Petroleum Geology of China (Volume 7) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993:337-347.
- [2] 潘冰. 三门峡盆地油气调查取得重大突破 [N]. 中国矿业报, 2025-01-15 (1).
Pan B. Significant breakthrough in oil and gas survey in Sanmenxia Basin [N]. China Mining News, 2025-01-15 (1).
- [3] 国土资源部油气资源战略研究中心. 全国石油天然气资源评价 (下册) [M]. 北京:中国大地出版社, 2010:577-1487.
Oil and Gas Resources Strategic Research Center of the Ministry of Land and Resources. National Petroleum and Natural Gas Resource Evaluation (Volume 3) [M]. Beijing: China Land Press, 2010:577-1487.
- [4] 刘池洋, 黄雷, 王建强, 等. 小型含油气盆地成因类型、特征与油气赋存 [J]. 地球科学与环境学报, 2024, 46 (4): 427-453.
Liu C Y, Huang L, Wang J Q, et al. Genetic classification, characteristics and hydrocarbon occurrence of small-scale petroliferous Basins [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2024, 46 (4): 427-453.
- [5] Liu C Y, Huang L, Zhao H G, et al. Small-scale petroliferous basins in China: Characteristics and hydrocarbon occurrence [J]. AAPG Bulletin, 2019, 103 (9): 2139-2175.
- [6] 刘显阳, 李士祥, 周新平, 等. 鄂尔多斯盆地石油勘探新领域、新类型及资源潜力 [J]. 石油学报, 2023, 44 (12): 2070-2090.
Liu X Y, Li S X, Zhou X P, et al. New fields, new types and resource potentials of petroleum exploration in Ordos Basin [J]. Ac-

- ta Petrolei Sinica, 2023, 44(12): 2070–2090.
- [7] 李玉宏, 高岗, 王行运, 等. 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, 2019, 40(2): 346–353.
Li Y H, Gao G, Wang X Y, et al. Characteristics of newly discovered crude oil in the Weihe Basin and its petroleum geological significance[J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(2): 346–353.
 - [8] 谷永昌, 刘永顺, 彭丽娜, 等. 中华人民共和国地质图(华北)(1:1 500 000)及说明书[M]. 北京:地质出版社, 2019.
Gu Y C, Liu Y S, Peng L N, et al. Geological Map of the People's Republic of China (North China) (1:1 500 000) and Instructions[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2019.
 - [9] 刘康, 魏荣珠, 续世朝. 山西隆起区燕山期构造变形特征[J]. 中国地质调查, 2019, 6(2): 58–67.
Liu K, Wei R Z, Xu S C. Structure deformation characteristics of Shanxi uplift area during Yanshan movement period[J]. Geological Survey of China, 2019, 6(2): 58–67.
 - [10] 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.
 - [11] 崔加伟, 李振宏, 井向辉, 等. 汾渭地堑系开启时限: 基于中条山奇峰花岗斑岩脉的年代学约束[J]. 地质力学学报, 2023, 29(4): 485–496.
Cui J W, Li Z H, Jing X H, et al. The initial time of the Fen–Wei graben system: Constraints from geochronology of the Qifeng granite porphyry dikes in the Zhongtiaoshan Mountains[J]. Journal of Geomechanics, 2023, 29(4): 485–496.
 - [12] 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.
 - [13] Li D P, Du J J, Ma Y S, et al. Active faults and dip slip rates along the northern margins of the Huashan Mountain and Weinan loess tableland in the southeastern Weihe Graben, central China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 114: 266–278.
 - [14] Tian Q H, Zhang W T, Zhu W. Characterizing crustal deformation of the Weihe Fault, Weihe Basin (Central China), Using InSAR and GNSS observations[J]. Applied Sciences, 2023, 13(11): 6835.
 - [15] Yang C Y, Ji L Y, Yang Y H, et al. Present–day activity and seismic potential of the north Qinling fault, southern ordos block, central China, as revealed from GPS data and seismicity[J]. Frontiers Earth Science, 2023, 10: 1058243.
 - [16] Shi W, Dong S W, Hu J M. Neotectonics around the Ordos Block, North China[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2024, 98(S1): 62–66.
 - [17] Duan M Y, Neubauer F, Robl J, et al. Northeastward expansion of the Tibetan Plateau: Topographic evidence from the North Qinling Mts. – Weihe Graben Coupling system, Central China[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2023, 623: 111612.
 - [18] 刘瑾, 陈兴强, 王平, 等. 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]. 中国地质大学学报: 地球科学版, 2020, 45(7): 2673–2683.
Liu J, Chen X Q, Wang P, et al. Sedimentary characteristics, provenance and tectonic significance of the Sanmen Formation in Weihe–Sanmenxia Basin[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2020, 45(7): 2673–2683.
 - [19] 李兆雨, 李永项, 李文厚, 等. 汾渭盆地古近系—新近系沉积特征[J]. 地质科学, 2021, 56(4): 1120–1133.
Li Z L, Li Y X, Li W H, et al. Sedimentary characteristics of Paleogene–Neogene in Fenwei Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2021, 56(4): 1120–1133.
 - [20] 张瑞胜. 河南灵宝盆地中生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.
 - [21] 杜春彦, 尉向东, 宋锋. 河南省新生代沉积盆地岩盐、天然碱成矿预测[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 2015: 40–60.
Du C Y, Wei X D, Song F. Metallogenic Prediction of Rock salt and Natural Alkali in Cenozoic Sedimentary Basins in Henan Province[M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 2015: 40–60.
 - [22] 贺清水. 地质报告(1:200 000 地质测量 I–49–XV 幅)[R]. 河南省地质局秦岭地质队一分队, 1956.
He Q S. Geological Report (1:200 000 Geological Survey I–49–XV Sheet)[R]. The First Detachment of Qinling Geological Team, Henan Provincial Bureau of Geology, 1956.
 - [23] 山西省地质局区域地质测量队. 中华人民共和国地质图说明书 1:20 万运城幅 I–49–IX、三门峡幅 I–49–X (地质部分)[R]. 西安: 陕西省地质资料档案馆, 1972.
Regional Geological Survey Team of Shanxi Provincial. Bureau of geology. Description of Geological Map of the People's Republic of China 1:200 000 Yuncheng Sheet I–49–IX, Sanmenxia Sheet I–49–X (Geological Part)[R]. Xi'an: Shaanxi Provincial Geological Data Archive, 1972.
 - [24] 河南省地质局豫07队. 河南省三门峡(包括灵宝)石膏矿普查简报[R]. 郑州: 河南省地质局豫07队, 1961.
Team Yu 07, Henan Provincial Bureau of Geology. A Brief Report on the General Survey of Sanmenxia (Including Lingbao) Gypsum Mine in Henan Province[R]. Zhengzhou: Henan Geological Bureau, Yu 07 Team, 1961.
 - [25] 栾航. 河南省灵宝县项城煤及油页岩简报[DS]. 全国地质资料馆, 1960, doi:10.35080/n01. c. 19866.
Luan H. Brief Report on Coal and Oil Shale in Xiangcheng, Lingbao County, Henan Province[DS]. National Geological Data Center, 1960, doi:10.35080/n01. c. 19866.
 - [26] 地质部第三普查勘探大队. 汾渭盆地石油地质普查总结报告[R]. 九江: 地质部第三普查勘探大队, 1967.
The Third General Survey and Exploration Brigade of the Ministry

- of Geology. Summary Report of Petroleum Geological Survey in Fenwei Basin [R]. Jiujiang: The Third Survey and Exploration Brigade of the Ministry of Geology, 1967.
- [27] 李钧松,姚林庄,孟宪松,等. 河南省主要构造体系与中生代盆地构造特征[R]. 南阳:河南省地质局地质十二队,1973.
- Li D S, Yao L Z, Meng X S, et al. Main Tectonic Systems and Tectonic Characteristics of Mesozoic Cenozoic Basins in Henan Province [R]. Nanyang: No. 12 Geological Team, Henan Bureau of Geology, 1973.
- [28] 李旗沛. 对三门峡盆地第三系的初步认识及勘探工作建议[R]. 濮阳:河南石油会战指挥部地质勘探开发研究所, 1978.
- Li Q P. Preliminary Understanding of the Tertiary System in Sanmenxia Basin and Suggestions for Exploration Work [R]. Puyang: Institute of Geological Exploration and Development, Henan Petroleum Battle Command, 1978.
- [29] 河南省地质局地科研究所. 河南省基岩地质图说明书(前新生界)1:50万基岩地质图[DS]. 全国地质资料馆, 1978, doi: 10.35080/n01. c. 61841
- Institute of Geosciences of Henan Provincial Bureau of Geology. Description of Henan Bedrock Geological Map (pre Cenozoic) 1:500 000 Bedrock Geological Map [DS]. National Geological Data Center, 1978, doi: 10.35080/n01. c. 61841.
- [30] 朱云峰. 三门峡地区灵宝凹陷构造灵参1井完井地质总结报告[R]. 河南石油会战指挥部, 1979.
- Zhu Y F. Geological Summary Report on Completion of Well Lingcan 1 in Lingbao Sag of Sanmenxia Area [R]. Henan Petroleum Battle Command, 1979.
- [31] 梁云亮. 灵宝地区构造灵参二井完井地质总结报告[R]. 南阳:河南石油会战指挥部, 1980.
- Liang Y L. Geological Summary Report on Completion of Lingcan - 2 Well in Lingbao Area [R]. Nanyang: Henan Petroleum Battle Command, 1980.
- [32] 王志明,许永仁,陆介儒,等. 河南省构造体系与地震图及其说明书(1:50万)[DS]. 全国地质资料馆, 1980, doi: 10.35080/n01. c. 65093.
- Wang Z M, Xu Y R, Lu J R, et al. Structural System and Seismogram of Henan Province and Its Specification: 1:500 000 [DS]. National Geological Data Center, 1980, doi: 10.35080/n01. c. 65093.
- [33] 张家珍,方志筠. 华北地区石油地质成果图(中、新生界)说明书(1:100万)[DS]. 全国地质资料馆, 1988, doi: 10.35080/n01. c. 72836.
- Zhang J Z, Fang Z J. Petroleum Geological Results Map of North China (Mesozoic and Cenozoic) 1:1 000 000 Specification [DS]. National Geological Data Center, 1988, doi: 10.35080/n01. c. 72836.
- [34] 喻积贤. (太峪口幅东半幅)I-49-53-D 1:5万区域地质图说明书[DS]. 全国地质资料馆, 1993, doi: 10.35080/n01. c. 85163.
- Yu J X. (Eastern Half of Taiyukou Sheet) I - 49 - 53 - D 1:50 000 Regional Geological Map Specification [DS]. National Geological Data Center, 1993, doi: 10.35080/n01. c. 85163.
- [35] 冯建之,崔燮祥,王杏村,等. 河南省灵宝县东南部勘查地球化学综合研究及找矿靶区优选报告:1:5万水系沉积物测量[DS]. 全国地质资料馆, 1992, doi: 10.35080/n01. c. 91088.
- Feng J Z, Cui X X, Wang X C, et al. Comprehensive Research on Exploration Geochemistry and Optimization of Prospecting Targets in the Southeast of Lingbao County, Henan Province: 1:50 000 Stream Sediment Survey [DS]. National Geological Data Center, 1992, doi: 10.35080/n01. c. 91088.
- [36] 白朝军,张保平. 朱阳镇幅 I49E011011 1:5万地质图说明书[DS]. 全国地质资料馆, 1995, doi: 10.35080/n01. c. 87380.
- Bai C J, Zhang B P. Description of I49E011011 1:50 000 Geological Map of Zhuyang Town Sheet [DS]. National Geological Data Center, 1995, doi: 10.35080/n01. c. 87380.
- [37] 郭莹,余郑生,李刚,等. 河南省三门峡——灵宝地区区域重力调查报告1:20万[R]. 河南省地质矿产厅地球物理勘查队, 1996.
- Guo Y, Yu Z S, Li G, et al. Regional Gravity Survey Report of Sanmenxia Lingbao Area, Henan Province, 1:200 000 [R]. Geophysical Exploration Team of Henan Provincial Department of Geology and Mineral Resources, 1996.
- [38] 宋红伟,于增宝,刘纪尧,等. 河南省灵宝市五亩煤预查工作总结报告[R]. 新乡:河南省地质矿产勘查开发局地球物理勘查队, 2009.
- Song H W, Yu Z B, Liu J Y, et al. Summary Report on the Pre Inspection of Wumu Coal in Lingbao City, Henan Province [R]. Xinxiang: Geophysical Exploration Team of Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 2009.
- [39] 程林,杨子荣. 地震勘探在五亩煤预查中的应用[J]. 煤炭技术, 2011, 30(4): 137 - 139.
- Cheng L, Yang Z R. Application of seismic exploration in anticipation of Wumu coal [J]. Coal Technology, 2011, 30(4): 137 - 139.
- [40] 宋红伟,余郑生,余哲庆. 五亩盆地沉积环境及聚煤作用分析[J]. 西部资源, 2016(2): 33 - 37.
- Song H W, Yu Z S, Yu Z Q. The analysis of Wumu basin for depositional environment and coal accumulating effect [J]. Western Resources, 2016(2): 33 - 37.
- [41] 陈付申,齐玉峰,吴东民,等. 河南省灵宝市城区一带地热资源详查报告[R]. 郑州:河南省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程队, 2007.
- Chen F S, Qi Y F, Wu D M, et al. Detailed Survey Report of Geothermal Resources in the Urban Area of Lingbao City, Henan Province [R]. Zhengzhou: The Second Hydrogeological Engineering Team of Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 2007.
- [42] 田庆水,沈阳,赵民,等. 河南省小秦岭北麓覆盖区金矿预查报告[R]. 郑州:河南省航空物探遥感中心, 2015.
- Tian Q S, Shen Y, Zhao M, et al. Pre Inspection Report on Gold Deposits in the Coverage Area of the Northern Foot of the Xiaoling Mountains in Henan Province [R]. Zhengzhou: National Geological Data Center, 2015.

- [43] 张红亮,牛宇航,杜欣. 河南省三门峡市交口凹陷岩盐矿预查报告[R]. 郑州:河南省地质矿产勘查开发局第四地质勘察院,2019.
- Zhang H L, Niu Y H, Du X. Pre Investigation Report of Rock Salt Mine in Jiaokou Sag, Sanmenxia City, Henan Province [R]. Zhengzhou: The Fourth Geological Exploration Institute of Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 2019.
- [44] 蔡兰花. 二维地震技术在三门峡盆地东交口地区盐矿勘查中的研究与应用[J]. 能源与环保, 2022, 44(8): 115 – 122.
- Cai L H. Research and application of two – dimensional seismic technology in salt mine exploration in Dongjiaokou Area, Sanmenxia Basin [J]. China Energy and Environmental Protection, 2022, 44(8): 115 – 122.
- [45] 王丹丹, 张交东, 刘旭锋, 等. 南华北盆地上古生界油气地质调查成果报告[R]. 北京: 中国地质调查局油气资源调查中心, 2021.
- Wang D D, Zhang J D, Liu X F, et al. Report on the Results of Oil and Gas Geological Survey of the Upper Paleozoic in the South North China Basin [R]. Beijing: Oil and Gas Resources Survey Center, China Geological Survey, 2021.
- [46] 周阳, 洪增林, 张卉, 等. 关中盆地浅层地热能赋存规律及资源量估算[J]. 中国地质调查, 2020, 7(2): 21 – 29.
- Zhou Y, Hong Z L, Zhang H, et al. Occurrence rules and resource estimation of shallow geothermal energy in Guanzhong Basin [J]. Geological Survey of China, 2020, 7(2): 21 – 29.
- [47] 周武. 陕西省潼关县地热水资源地质条件分析[J]. 陕西地质, 2015, 33(1): 90 – 92.
- Zhou W. Geology of geothermal water source in Tongguan county of Shaanxi [J]. Geology of Shaanxi, 2015, 33(1): 90 – 92.
- [48] 李腾超, 王书宏, 寇正卫. 河南省地温场分布规律及成因机制分析[J]. 城市地质, 2020, 15(2): 194 – 200.
- Li T C, Wang S H, Kou Z W. Analysis of the distribution and formation mechanism of the geothermal field in Henan Province [J]. Urban Geology, 2020, 15(2): 194 – 200.
- [49] 严珊珊, 王俊杰, 郑严, 等. 豫西某地热井油层封堵处理措施[J]. 地质装备, 2023, 24(4): 45 – 48.
- Yan S S, Wang J J, Zhang Y, et al. Sealing measures for oil layer of a geothermal well in western Henan [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2023, 24(4): 45 – 48.
- [50] 何发岐, 王付斌, 於文辉. 三门峡断陷盆地成因机制分析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版) 自然科学, 2022(5): 290 – 293.
- He F Q, Wang F B, Yu W H. Analysis of the genesis mechanism of the Sanmenxia fault basin [J]. Chinese Science and Technology Journal Database (Full Text Edition) Natural Science, 2022(5): 290 – 293.
- [51] 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.
- [52] 何发岐, 黎小伟, 谢兴兵, 等. 豫西—关中地区深部电性结构特征分析[J]. 石油物探, 2023, 62(3): 557 – 566.
- He F Q, Li X W, Xie X B, et al. Characteristics and interpretation of deep electrical structures in the Western Henan – Guanzhong area [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2023, 62(3): 557 – 566.
- [53] 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.
- [54] 张交东, 刘旭锋, 王丹丹, 等. 三门峡盆地及周缘油气基础地质调查年度报告[R]. 北京: 中国地质调查局油气资源调查中心, 2022.
- Zhang J D, Liu X F, Wang D D, et al. Annual Report on Basic Geological Survey of Oil and Gas in and around Sanmenxia basin [R]. Beijing: Oil and Gas Resources Survey Center, China Geological Survey, 2022.
- [55] 张交东, 刘旭锋, 王丹丹, 等. 三门峡盆地及鄂尔多斯南缘盆地群油气调查评价年度报告[R]. 北京: 中国地质调查局油气资源调查中心, 2023.
- Zhang J D, Liu X F, Wang D D, et al. Annual Report on Oil and Gas Investigation and Evaluation of Sanmenxia Basin and Southern Ordos Basin Group [R]. Beijing: Oil and Gas Resources Survey Center, China Geological Survey, 2023.
- [56] 张交东, 刘旭锋, 王丹丹, 等. 豫西地区中小盆地油气基础地质调查项目年度报告[R]. 北京: 中国地质调查局油气资源调查中心, 2024.
- Zhang J D, Liu X F, Wang D D, et al. Annual Report of Basic Geological Survey of Oil and Gas in Small and Medium – sized Basins in Western Henan Province [R]. Beijing: Oil and Gas Resources Survey Center, China Geological Survey, 2024.
- [57] 程俊阳, 何贤科, 段冬平, 等. 渤海湾盆地某油田混积岩名称厘定及储层特征[J]. 中国地质调查, 2023, 10(5): 27 – 33.
- Cheng J Y, He X K, Duan D P, et al. Name determination and reservoir characteristics of diamictite in a certain oilfield of Bohai Bay Basin [J]. Geological Survey of China, 2023, 10(5): 27 – 33.
- [58] Ji H C, Li H Q, Chen L, et al. Composition and resource prediction of the Nanxiang basin geothermal system: A case study of the Bi yang and Nanyang Sags [J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24(3): 199 – 209.
- [59] Su A, Chen H H, Zhao J X, et al. Integrated fluid inclusion analysis and petrography constraints on the petroleum system evolution of the central and southern Biyang Sag, Nanxiang Basin, Eastern China [J]. Marine and Petroleum Geology, 2020, 118: 104437.
- [60] 林玉祥, 孟彩, 韩继雷, 等. 华北地台区古近纪—新近纪岩相古地理特征[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 1058 – 1067.
- Lin Y X, Meng C, Han J L, et al. Characteristics of lithofacies paleogeography during Paleogene – Neogene in the area of North China platform [J]. Geology in China, 2015, 42(4): 1058 – 1067.

Exploration history of geological mineral resources in Sanmenxia basin and implications from oil and gas discovery

ZHANG Jiaodong^{1,2}, ZHOU Xingui^{1,2}, YANG Chao³, LIU Hui^{1,2}, BAO Shujing^{1,2},
LU Zengfeng⁴, ZHANG Jingkai⁵

(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. China Geological Survey, Beijing 100083, China;
4. Lingbao Natural Resource Planning Bureau in Henan Province, Sanmenxia Henan 472500, China;
5. Henan Geology Bureau, Zhengzhou Henan 450000, China)

Abstract: Sanmenxia basin is a small Cenozoic – dominated rift basin in the southern margin of North China Block, and 2D seismic and drilling work of oil and gas exploration has been conducted since the 1950 s. Significant progress was made in 2023, and three exploration phases were divided for 70 years of exploration, including petroleum prospecting and basic geological survey, public – benefit oil and gas geological survey, hydrocarbon breakthrough and resource potential assessment. In recent years, Paleogene hydrocarbon source rocks were identified in the southern basin through public – benefit oil and gas survey, and advanced understanding of hydrocarbon accumulation was obtained. Well Yuxiadi – 1 was strategically deployed in Hanguguan structural belt to further evaluate oil and gas potential, and five oil – bearing layers were revealed through logging interpretation. Stable industrial oil flows were obtained during multi – layer testing, marking a historic breakthrough in Sanmenxia basin. Preliminary estimate of the basin’s prospective geological resources has been made. Five critical insights emerge from exploration history and oil breakthrough. ① Meticulous field observations enable source rock identification. ② Integrated data analysis enhances fundamental petroleum geology research. ③ Cost – effective technical approaches have been explored, the understanding has been deepened and the doubts have been verified; ④ Synergized geological – engineering integration accelerates discoveries. ⑤ Collaborative central government – local government – enterprise exploration model optimizes resource evaluation. As a representative of China’s numerous under – explored medium – small basins, Sanmenxia’s rapid transition from source rock discovery to commercial flow achievement boosts confidence for the neighboring basins like Weihe basin and the Southern North China basin, and provides valuable guidance and references for hydrocarbon exploration in structurally similar small – medium basins nationwide.

Keywords: Sanmenxia basin; well Yuxiadi – 1; exploration history; resource prospects; oil and gas discovery implications

(责任编辑: 常艳)