doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.02.02
引用格式: 李清瑶,尹成明,高永进,等. 塔里木盆地东部超深层油气勘探快速实现新突破[J]. 中国地质调查,2024,11(2): 11-16. (Li Q Y,Yin C M,Gao Y J,et al. Rapid achievement of new breakthroughs in ultra-deep oil and gas exploration in eastern Tarim Basin [J]. Geological Survey of China,2024,11(2): 11-16.)

塔里木盆地东部超深层油气勘探快速实现新突破

李清瑶[1,2,3], 尹成明[1,2,3*], 高永进[1,2,3], 徐大融[4], 曹崇崇[4],
白忠凯[1,2,3], 刘亚雷[1,2,3], 程明华[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重点实验室,北京 100029; 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; 4. 新疆创源石油天然气开发有限公司,新疆 尉犁 841500; 5. 中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司塔里木物探院,新疆 库尔勒 841001;)

摘要: 塔里木盆地东部蕴藏着丰富的油气资源,是我国陆上油气资源增储上产的重点地区。在国家油气勘查开采体制改革、新一轮找矿突破战略行动等政策背景下,中央-地方-企业紧密融合新机制助推了油气勘探开发快速实现突破的新模式,带来了极大的经济效益和社会效益。创新优化制定了塔东尉犁西 1 区块勘探部署方案,实现了 8 000 m 以深地质层位设计和实钻对比"零"误差,取得了信源 1 井、信源 2 井、信源 3 井超深层油气重大发现。同时,形成了一系列科技创新成果,提高了超深层地质体识别精度,形成了地质工程一体化技术体系,明确了缝洞型储层发育区,形成了 2 亿 t 级规模超深层油气富集新区。新机制新模式开辟了"十四五"油气增储上产新领域,奠定了塔东油气资源接续基地建设基础,推进了新一轮找矿突破战略行动目标的实现。

关键词: 塔里木盆地; 塔东地区; 尉犁西 1 区块; 超深层; 油气资源接续基地
中图分类号: TE122 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2024)02-0011-06

0 引言

塔东地区位于塔里木盆地东部,西邻富满和顺北 2 个特大型油气田,矿权空白区面积近 8 万 km^2,油气资源潜力巨大,是国家新一轮找矿突破战略行动规划建设的大型油气接续基地之一。前期受深层—超深层油气成藏理论认识与勘查技术方法限制,油气勘查未获得规模性突破。

为全面推进新一轮找矿突破战略行动,促进形成大型资源接续基地,建立"政府主导、公益先行、商业跟进、科技引领、快速突破"的中央-地方-企业协调联动新机制,聚焦塔东地区关键地质问题,持续开展油气调查科技攻关,优选了有利区带,评价了资源潜力,支撑自然资源部成功出让 8 个油气勘查区块。区块出让后,在有利目标优选、勘探方案部署、随钻分析等方面服务中标企业实现快速发现,支撑塔东地区超深层油气资源接续基地建设取得重大突破。

1 油气调查进展与成果

(1)制定尉犁西 1 等区块勘探部署方案。尉犁西 1 区块位于塔里木盆地北部坳陷满西低凸起东段,东接满加尔凹陷,北靠塔北隆起轮南低凸起(图 1),矿权面积 1 550.78 km^2。本文在总结邻区油气地

收稿日期: 2024-04-02; **修订日期:** 2024-04-08。
基金项目: 中国地质调查局"能源矿产地质调查(编号: YJ002)""全国油气重点调查区战略性矿产调查评价(编号: DD20230042)""河套盆地及周缘油气资源调查评价(编号: DD20242184)"和中国地质调查局成果转化项目"新疆顺北西等区块油气富集规律研究(编号: 2023-1100-16-000685)"联合资助。
第一作者简介: 李清瑶(1989—),女,工程师,主要从事沉积学与油气成藏方面的研究。Email: liqingyao@mail.cgs.gov.cn。
通信作者简介: 尹成明(1973—),男,正高级工程师,主要从事油气基础地质调查和战略选区研究。Email: yinchengming@mail.cgs.gov.cn。

质成藏富集规律基础上，认为该区 8 000 m 以深油气资源潜力巨大，预测了断裂控制的缝洞体油气藏成藏模式，制定了采集高精度三维资料是该区勘探的关键环节，需要精细刻画断裂分布及预测储层分布、优选井位的部署思路。部署实施了三维地震 398.5 km^2，经过高质量快速采集、处理、解释及地质分析后，第一批部署 3 口探井，第二批部署 16 口探井评价井，地质工程一体化，同步开展地质设计、工程设计及地面建设等，实现了无缝衔接、企地协作，完成了当年采集三维、当年开钻的目标。

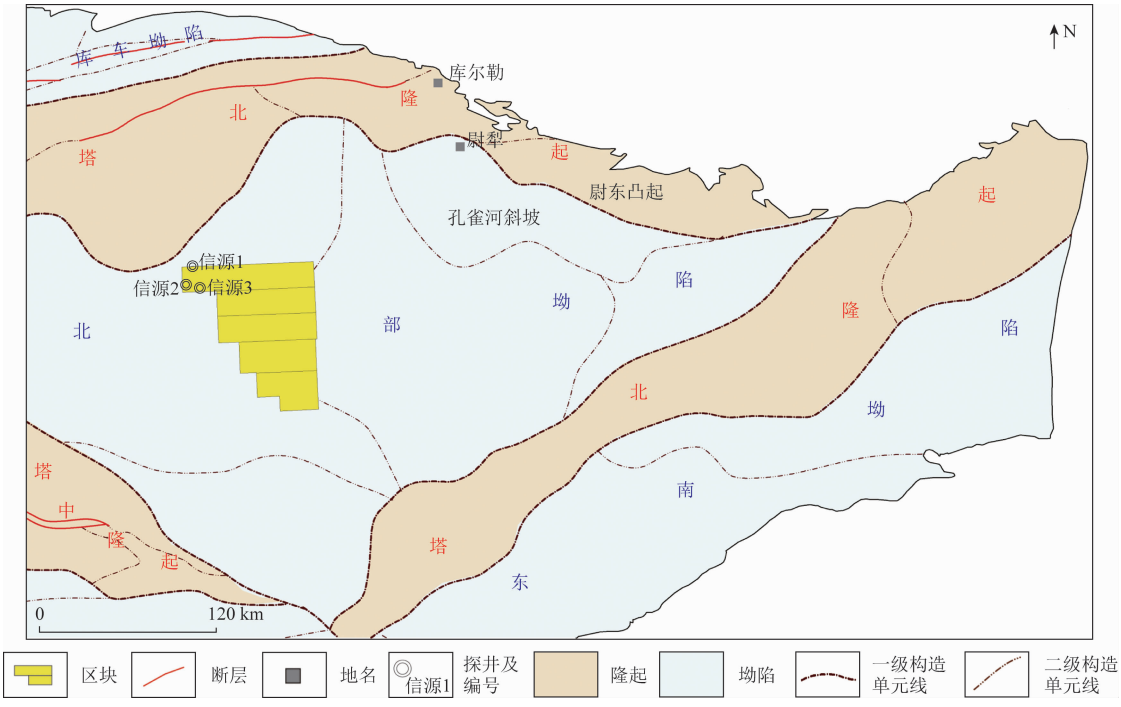

图 1　研究区位置

Fig. 1　Location map of the study area

（2）超深层地质层位设计和实钻对比实现“零”误差。项目组不断强化地质认识，优化地震采集参数和钻井井身结构，实现信源 1 井、信源 2 井、信源 3 井在超过 8 000 m 井段预测层位误差均小于 10 m（规范误差小于 5%，实际均小于 1%）。信源 1 井设计井深 8 418 m/8 329 m（垂深），完钻井深8 303 m/8 253 m（垂深）（放空提前完钻），完钻层位为鹰山组。信源 2 井设计井深 8 688 m/8 623 m（垂深），完钻井深 8 710 m/8 639 m（垂深），完钻层位为鹰山组（图 2）。信源 3 井设计井深 8 784 m/8 712 m（垂深），完钻井深 8 782 m/8 714 m（垂深），完钻层位为鹰山组。钻探过程中有效控制钻井液比重，实现了近平衡钻进，目的层段控压“点火”，安全优质快速钻穿目的层段，3 口探井在设计目的层段均发现良好油气显示，同时为测试实现高产工业油气流提供了技术保障。

（3）信源 1 井、信源 2 井、信源 3 井在超深层取得油气重大发现。信源 1 井、信源 2 井、信源 3 井在目的层段奥陶系一间房组—鹰山组油气显示活跃，钻井过程中循环节流管线点火，在 1.88 ~ 1.90 g/cm^3 的泥浆比重下，持续控压钻进点火，焰高 3 ~ 8 m，且长时间连续燃烧，油气藏呈高温高压特征（信源 1 井、信源 2 井、信源 3 井井底温度分别为 164 ℃、180.6 ℃、186 ℃，压力预测 158 MPa、163 MPa、168 MPa），3 口井测试均获得日产 30 万 m^3 以上高产工业气流。初步研判尉犁西地区既发育大断裂主控的条带状油气藏，又发育网状裂缝和溶蚀孔洞控制的面状油气藏，沿断裂带可形成多个亿吨级油气富集区，有利面积约6 000 km^2，有望成为塔里木盆地继富满、顺北之后第三个特大型超深层油气田。

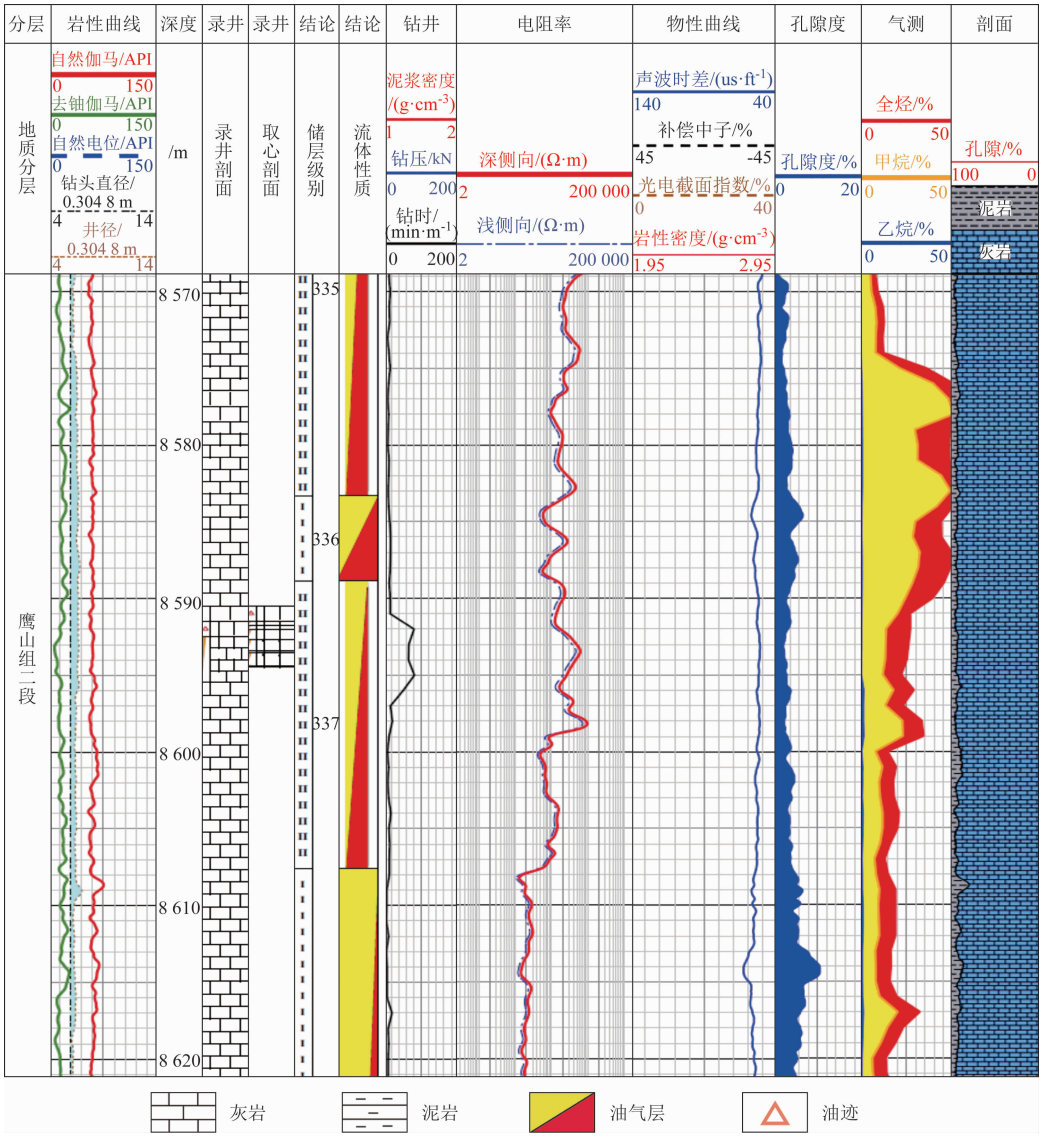

图 2　信源 2 井目的层测井初步解释成果

Fig. 2　Preliminary interpretation results of logging data from the target stratum in Well XY2

2　地质理论与勘查技术创新

（1）明确两期走滑断裂交汇处形成的大面积缝洞型储层为主攻方向。走滑断裂展布和有利储层相带是研究区的关键地质问题，针对这两大问题进行分析认为：一是研究区处于多期构造叠加部位，具备发育走滑断裂的区域构造背景，NE 向走滑断裂控制顺北、富满油气分布，该区处于 SN 向和 NE 向走滑断裂交汇区，可形成大规模裂缝溶洞储集体；二是一间房组—鹰山组巨厚碳酸盐岩脆性地层为走滑断裂破裂成储提供了物质基础，尉犁西区块位于轮南—古城多期台缘带的核心区域，台坪—台隆相有利储集相带规模发育（图 3），将尉犁西 1 区块西部作为主攻方向，主探奥陶系；三是下寒武统玉尔吐斯组烃源岩分布范围广、有机质丰度高、类型好、成熟度高，为该区提供了充足的油源基础。

（2）形成超深层地震勘探技术，提高了地质体识别精度。超深层勘探在地震地质方面存在诸多问题，如地表条件复杂、目的层埋藏深、缝洞结构复杂、油水关系复杂等。针对这些难题，通过联合攻关，形成了超深层地震勘探技术，提高了地质解释精度。一是在大沙漠区采用宽方位、高密度的三维地震数据采集技术，设计最大炮检距 10 000 m，增

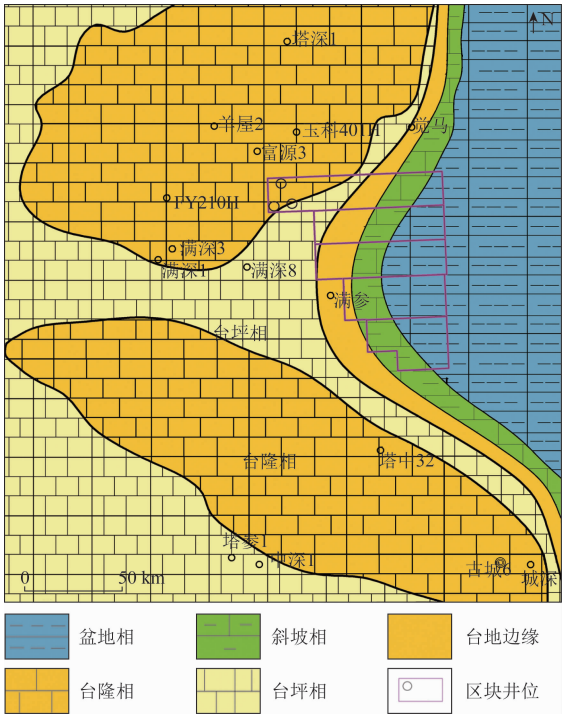

图 3 塔里木盆地尉犁西区块及周缘奥陶系鹰山组沉积相

Fig. 3 Sedimentary facies of Yingshan Formation of Ordovician in western Yuli block and its surrounding areas in Tarim Basin

加检波器组合个数，扩大组合面积，优化激发接收条件，实验定量优化激发药量，保障深层单炮品质；二是各向异性逆时偏移的三维地震数据处理技术为有效识别断控体发育奠定基础，创新应用基于超深层地震波场保真的体去噪技术、全深度一体化速度建场技术、叠前深度逆时偏移技术、炮检距向量（offset vector tile，OVT）一域叠前深度偏移技术、垂直地震剖面（vertical seismic profile，VSP）驱动地震成像技术等，为有效识别断控体发育奠定基础；三是走滑断裂立体解释与表征、断控缝洞储层预测与定量雕刻的三维地震解释研究技术，为井位优选提供了圈闭基础（图 4）。

（3）地质、工程一体化技术实现高效钻探，钻井精准入靶。针对超深井在实钻过程中易出现的种种难题，形成了地质工程一体化技术体系。一是结合周缘钻井出现的复杂工程、地质难点，准确预测膏盐层、火山岩等分布，优化了井身结构，确保工程顺利实施；二是对于超深层（>8 000 m）钻探，采用高分辨率 VSP 随钻分析技术，有效控制轨迹调整。

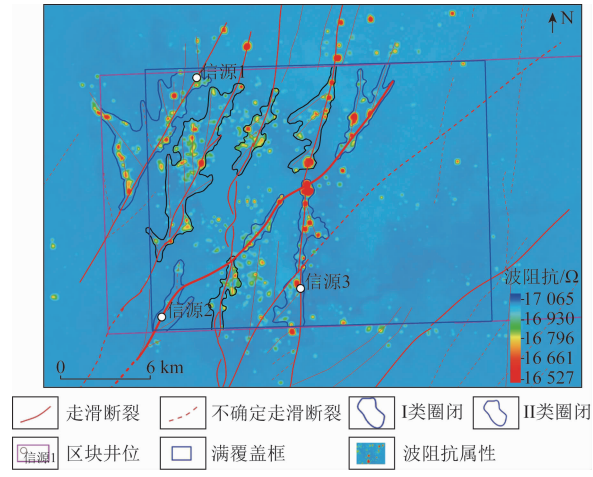

图 4 信源 1 井三维区奥陶系上组合波阻抗属性叠圈闭

Fig. 4 Wave impedance attribute overlay and circle closure of upper combination of Ordovician in the 3D area of Well XY1

VSP 随钻信源 1 井 A 靶点向南调整，距离原靶点 32 m，垂深减少 55 m，B 靶点东北方向调整，距离原靶点 29 m，B 靶点垂深加深 20 m（图 5），确保实钻轨迹精准进入靶点，实现超深层地质层位设计和实钻对比“零”误差。

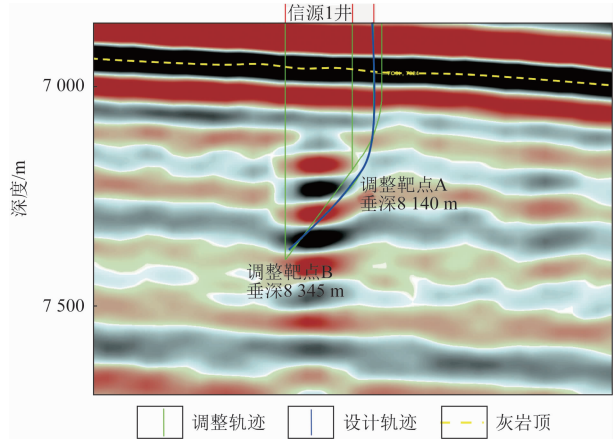

图 5 信源 1 井井深轨迹调整 VSP 剖面

Fig. 5 Adjusted VSP profile of well depth trajectory for Well XY1

（4）推进数字塔里木盆地建设，评价塔东地区深层油气地质资源量 46.7 亿 t。系统解剖塔里木盆地深层地质结构，分析构造演化特征，构建盆地油气地质大数据库和多尺度三维地质模型。重点围绕塔东地区震旦系和下寒武统两套烃源岩，建立了深层油气成藏预测模式，开展含油气系统模拟，估算深层油气地质资源量 46.7 亿 t，明确了油气主

要增储领域,为油气勘查评价及区块出让奠定了基础,为新疆油气增储上产与国家能源资源安全保障提供了资源基础。

3 建议

(1)进一步加大塔东地区油气调查和勘查力度。一是支撑企业 2025 年初步建成 100 万 t 油气产能,支撑中标企业快速发现基础上,在尉犁西 1 区块共部署探井 8 口、评价井 16 口,目前已实施16 口; 在尉犁西 2 区块等 4 个区块,部署三维地震 1 888.6 km^2,拓展油气富集区分布范围,论证部署探井井位 5 ~ 10 口,预计 2025 年底完成钻井 60 口,上报油气地质储量超 2 亿 t,初步建成 100 万 t 油气产能。二是推进与中标企业联合部署万米深井,打造中国地质调查深地工程。聚焦塔东地区主力产层埋深大(8 000 ~ 12 000 m)、勘查开采难度大等难题,联合中标企业共同部署实施万米深井,开展科技攻关,逐步破解我国西部大型叠合盆地超深层地质、工程重大科技难题,充分释放深层、超深层油气资源潜力。三是瞄准四新领域继续寻找油气有利区。围绕塔东库尔勒鼻凸、英吉苏凹陷等重点地区加强基础地质研究与科技攻关,部署实施物探、钻探等工作,明确断裂发育、地层展布和圈闭发育特征,落实油气成藏主控因素及有利区,力争实现油气调查新突破。

(2)持续推进区块优选评价与成果转化服务。一是持续推出有效勘查区块。基于基础地质研究、资源潜力评价和油气调查成果与认识,在塔东地区再优选 5 ~6 个可供出让的油气勘查区块,持续支撑自然资源部油气矿业权管理; 二是全力做好技术支撑,密切跟踪油田、中标企业勘探开发进展,在勘查开采方案编制、重点探井论证、压裂试油、钻后综合评价、储量计算等方面提供技术支撑服务,助推塔东地区增储上产和大型油气资源接续基地建设。

致谢: 本文是多家单位联合项目组成员共同努力取得的集体成果,对张士涛、白国建、赵博、马培领、张昊晨、韩森、张远银、苗苗青、武建伟等表示感谢! 感谢郭旭升院士、付锁堂教授等在项目工作中提出了宝贵意见,在此一并谨致谢忱。

参考文献(References):

[1] 杨有星,高永进,周新桂,等. 新疆地区公益性油气调查进展与主要成果[J]. 中国地质调查,2023,10(3):1 – 15.
Yang Y X,Gao Y J,Zhou X G,et al. Progress and main achievements of public welfare oil and gas survey in Xinjiang[J]. Geological Survey of China,2023,10(3):1 – 15.

[2] 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气[M]. 北京:石油工业出版社,1997:205 – 389.
Jia C Z. Structural Characteristics of Tarim Basin,China[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,1997:205 – 389.

[3] 杨海军,陈永权,潘文庆,等. 塔里木盆地南华纪 – 中寒武世构造沉积演化及其盐下勘探选区意义[J]. 中国石油勘探,2021,26(4):84 – 98.
Yang H J,Chen Y Q,Pan W Q,et al. Study on tectonic and sedimentary evolution during the Nanhua – Middle Cambrian and its significance for subsalt exploration,Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration,2021,26(4):84 – 98.

[4] 吕修祥,白忠凯,谢玉权,等. 塔里木盆地西北缘柯坪地区油气勘探前景再认识[J]. 沉积学报,2014,32(4):766 – 775.
Lü X X,Bai Z K,Xie Y Q,et al. Reconsideration on petroleum exploration prospects in the Kalpin thrust belt of northwestern Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2014,32(4):766 – 775.

[5] 杨有星,张君峰,高永进,等. 新疆塔里木盆地温宿凸起新温地 1 井? 2 井获高产工业油流[J]. 中国地质,2020,47(1):251 – 252.
Yang Y X,Zhang J F,Gao Y J,et al. High industrial oil flow obtained from Well XWD1 and XWD2 in the Wensu uplift of the Tarim Basin[J]. Geology in China,2020,47(1):251 – 252.

[6] 张君峰,高永进,杨有星,等. 塔里木盆地温宿凸起油气勘探突破及启示[J]. 石油勘探与开发,2019,46(1):14 – 24.
Zhang J F,Gao Y J,Yang Y X,et al. Oil exploration breakthrough in the Wensu salient,northwest Tarim Basin and its implications[J]. Petroleum Exploration and Development,2019,46(1):14 – 24.

[7] 张远银,高永进,白忠凯,等. 塔里木盆地柯坪断隆东段新苏地 1 井钻获奥陶系—志留系油气显示[J]. 中国地质,2020,47(6):1930 – 1931.
Zhang Y Y,Gao Y J,Bai Z K,et al. New hydrocarbon discoveries via XSD1 drilling in the eastern Keping uplift,Tarim Basin[J]. Geology in China,2020,47(6):1930 – 1931.

[8] 杨有星,高永进,张金虎,等. 塔里木盆地西北缘新苏地 2 井钻获志留系油气层[J]. 中国地质,2022,49(5):1699 – 1700.
Yang Y X,Gao Y J,Zhang J H,et al. Discovery of Silurian hydrocarbon reservoirs obtained by well XSD2 in the northwest Tarim Basin[J]. Geology in China,2022,49(5):1699 – 1700.

[9] 李清瑶,高永进,杨有星,等. 塔里木盆地西北部志留系柯坪塔格组沉积体系演化特征[J]. 断块油气田,2023,30(4):639 – 647.
Li Q Y,Gao Y J,Yang Y X,et al. Sedimentary system evolution characteristics of Silurian Kepingtage Formation in northwest Tarim

Basin[J]. Fault – Block Oil & Gas Field,2023,30(4):639 – 647.

[10] 周新桂,高永进,杜小弟,等. 新疆博格达山前带油气调查进展[J]. 中国地质调查,2020,7(1):1 – 6.
Zhou X G,Gao Y J,Du X D,et al. Progress of oil and gas investigation in the piedmont of the Bogda Mountain in Xinjiang[J]. Geological Survey of China,2020,7(1):1 – 6.

[11] 杨有星,张君峰,张金虎,等. 新疆博格达山周缘中上二叠统与中上三叠统沉积特征及其主控因素[J]. 石油勘探与开发,2022,49(4):670 – 682.
Yang Y X,Zhang J F,Zhang J H,et al. Sedimentary characteristics and main controlling factors of the Middle – Upper Permian and Middle – Upper Triassic around Bogda Mountain of Xinjiang,NW China[J]. Petroleum Exploration and Development,2022,49(4):670 – 682.

[12] 金之钧,刘全有,云金表,等. 塔里木盆地环满加尔凹陷油气来源与勘探方向[J]. 中国科学:地球科学,2017,47(3):310 – 320.
Jin Z J,Liu Q Y,Yun J B,et al. Potential petroleum sources and exploration directions around the Manjar Sag in the Tarim Basin[J]. Science China Earth Sciences,2017,60(2):235 – 245.

[13] 赵孟军,王招明,潘文庆,等. 塔里木盆地满加尔凹陷下古生界烃源岩的再认识[J]. 石油勘探与开发,2008,35(4):417 – 423.
Zhao M J,Wang Z M,Pan W Q,et al. Lower Palaeozoic source rocks in Manjiaer Sag,Tarim Basin[J]. Petroleum Exploration and Development,2008,35(4):417 – 423.

[14] 曹福仁. 应用于塔东地区满加尔凹陷沙漠的地震资料静校正[J]. 大庆石油地质与开发,2015,34(2):140 – 143.
Cao F R. Seismic data static correction applied in Manjiaer sag desert in East Tarim[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing,2015,34(2):140 – 143.

[15] 马永生,蔡勋育,云露,等. 塔里木盆地顺北超深层碳酸盐岩油气田勘探开发实践与理论技术进展[J]. 石油勘探与开发,2022,49(1):1 – 17.
Ma Y S,Cai X Y,Yun L,et al. Practice and theoretical and technical progress in exploration and development of Shunbei ultra – deep carbonate oil and gas field,Tarim Basin,NW China[J]. Petroleum Exploration and Development,2022,49(1):1 – 17.

[16] 李勇,徐珂,张辉,等. 塔里木盆地超深层油气钻探工程的特殊地质因素[J]. 中国石油勘探,2022,27(3):88 – 98.
Li Y,Xu K,Zhang H,et al. Special geological factors in drilling engineering of ultra – deep oil and gas reservoir in Tarim Baisn[J]. China Petroleum Exploration,2022,27(3):88 – 98.

Rapid achievement of new breakthroughs in ultra – deep oil and gas exploration in eastern Tarim Basin

LI Qingyao[1,2,3], YIN Chengming[1,2,3], GAO Yongjin[1,2,3], XU Darong[4], CAO Chongchong[4], BAI Zhongkai[1,2,3], LIU Yalei[1,2,3], CHENG Minghua[5]

(1. *Oil & Gas Survey Center, China Geological Survey, Beijing* 100083, *China*; 2. *Key Laboratory of Unconventional Oil and Gas, China Geological Survey, Beijing* 100029, *China*; 3. *National Key Laboratory of Multi – resource Collaboration Continental Shale Oil, Beijing* 100083, *China*; 4. *Xinjiang Chuangyuan Enterprise Management, Xinjiang Yuli* 841500, *China*; 5. *Tarim Geophysical Prospecting Research Institute of CNPC Eastern Geophysical Company, Xinjiang Kuerle* 841001, *China*)

Abstract: Eastern Tarim Basin is rich in oil and gas resources and is a key region for reserve growth and production addition of land oil and gas resources in China. Under the institutional reform of national oil and gas exploration and exploitation and new round of mineral exploration breakthroughs strategic actions, the close integration of central and local grovernment and enterprises has promoted a new model of oil and gas exploration and development, bringing significant economic and social benefits. The formulating exploration deployment plan for Yuli west 1 block was innovated and optimized, achieving a "zero" error in the design of geological horizons deeper than 8,000 meters and actual drilling comparisons, and making major discoveries of ultra – deep oil and gas in Well XY1, XY2, XY3. A series of technological innovations have been made, which improved the accuracy of ultra – deep geological body identification. And an integrated technical system of geological engineering formed. The development area of fractured – cavity reservoirs was clarified, and a 200 million ton – scale ultra – deep oil and gas accumulation area was discovered. This new mechanism and new model opened up a new area for reserve growth and production addition of oil and gas in the 14th Five – Year Plan period, which laid the foundation for the oil and gas resource succession base construction in eastem Tarim Basin and promoted the goals achievement of the new round of mineral exploration breakthroughs strategic actions.

Keywords: Tarim Basin; eastern Tarim area; Yuli west 1 block; ultra – deep; oil and gas resource succession base

(责任编辑: 常艳)