

引用本文:赵永强,宋振响,王斌,等.准噶尔盆地油气资源潜力与中国石化常规—非常规油气一体化勘探策略[J].石油实验地质,2023,45(5):872-881. DOI:10.11781/sysydz202305872.

ZHAO Yongqiang, SONG Zhenxiang, WANG Bin, et al. Resource potential in Junggar Basin and SINOPEC's integrated exploration strategy for conventional and unconventional petroleum[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2023, 45(5): 872-881. DOI: 10.11781/sysydz202305872.

# 准噶尔盆地油气资源潜力与中国石化常规— 非常规油气一体化勘探策略

赵永强<sup>1,2,3</sup>, 宋振响<sup>1,2,3</sup>, 王斌<sup>1,2,3</sup>, 邱岐<sup>1,2,3</sup>, 孙中良<sup>1,2,3</sup>, 吴小奇<sup>1,2,3</sup>

1. 中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126;

2. 页岩油气富集机理与高效开发全国重点实验室, 江苏 无锡 214126;

3. 中国石化油气成藏重点实验室, 江苏 无锡 214126

**摘要:**准噶尔盆地油气资源丰富, 勘探潜力巨大, 是我国油气增储上产的主战场之一。近年来中国石油在准噶尔盆地勘探不断取得重大突破, 揭示了常规、非常规油气有序共生的分布格局。为进一步吸收邻区油气成果勘探开发经验和地质理论新认识, 制定中国石化在准噶尔盆地的油气勘探策略, 文章系统分析了准噶尔盆地油气资源潜力及分布特征, 指出了目前资源评价中存在的对天然气和非常规油气资源不够重视的问题; 通过梳理近年来盆地在多领域、多层系、多类型的重大油气勘探突破, 结合中国石化矿权区油气地质条件和勘探实际, 提出中国石化下一步在准噶尔盆地的重点突破方向及勘探策略。研究表明, 准噶尔盆地目前已进入中下组合勘探为主的新时期, 勘探思路也必须随之调整, 必须坚持由早期的源外勘探转为源内及近(进)源勘探, 由早期的常规油气勘探为主, 转为常规—非常规油气并重; 并就下一步如何尽快实现中国石化在准噶尔盆地的大突破、大发现和增储上产目标, 提出进一步摸清资源家底、组建常规—非常规一体化攻关团队、加强地质—工程一体化联合攻关和加大风险勘探力度等 4 个方面的勘探策略。

**关键词:**资源潜力; 下组合; 勘探进展; 常规—非常规油气一体化; 勘探策略; 准噶尔盆地  
**中图分类号:** TE13 **文献标识码:** A **DOI:** 10.11781/sysydz202305872

## Resource potential in Junggar Basin and SINOPEC's integrated exploration strategy for conventional and unconventional petroleum

ZHAO Yongqiang<sup>1,2,3</sup>, SONG Zhenxiang<sup>1,2,3</sup>, WANG Bin<sup>1,2,3</sup>,

QIU Qi<sup>1,2,3</sup>, SUN Zhongliang<sup>1,2,3</sup>, WU Xiaoqi<sup>1,2,3</sup>

1. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China;

2. State Key Laboratory of Shale Oil and Gas Enrichment Mechanisms and Efficient Development, Wuxi, Jiangsu 214126, China;

3. SINOPEC Key Laboratory of Petroleum Accumulation Mechanisms, Wuxi, Jiangsu 214126, China

**Abstract:** The Junggar Basin is rich in oil and gas resources, with huge exploration potential, which is one of the main arenas of increasing oil and gas reserve and producing in China. In recent years, CNPC has made major breakthroughs in exploration in the Junggar Basin, revealing the orderly symbiotic distribution pattern of conventional and unconventional oil and gas. In order to further learn from the oil and gas achievements and exploration and development experience in neighboring areas and the new geological theories, for formulating SINOPEC's oil and gas exploration strategy in the Junggar Basin, the potential and distribution characteristics of the oil and gas resources in the Junggar Basin are systematically analyzed in this paper and it is pointed out that no enough attention is paid to natural gas and unconventional petroleum. The key breakthrough direction and exploration strategy of SINOPEC in the Junggar Basin are put forward in the paper after reviewing the major exploration breakthroughs

收稿日期 (Received): 2023-04-17; 修订日期 (Revised): 2023-07-31; 出版日期 (Published): 2023-09-28.

作者简介: 赵永强 (1973—), 男, 博士, 研究员, 本刊编委, 从事油气成藏研究。E-mail: zhaoyq.syky@sinopec.com.

基金项目: 中国石化科技攻关项目 (P21077-1, P22132) 和国家自然科学基金项目 (42172149) 联合资助。

© Editorial Office of Petroleum Geology & Experiment. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.

in multiple fields, multiple strata, and multiple types in recent years and combining with the oil and gas geological conditions and exploration practice of SINOPEC's mining rights area. The research reveals that the Junggar Basin has entered a new period of exploration dominated by the middle and lower assemblage, and the exploration ideas must be adjusted accordingly. We must insist on the transformation from early outside-source exploration to intra-source and near-source exploration, and from early conventional petroleum exploration to both conventional and unconventional petroleum exploration. In order to make big exploration breakthrough of SINOPEC and realize the target of increasing reserves and production in the near and medium term in the Junggar Basin as soon as possible, four exploration strategies are proposed in the paper, including further figuring out the resources, establishing an integrated research team of conventional and unconventional petroleum, strengthening the joint research of geological and engineering integration, and increasing the support of risk exploration.

**Key words:** resource potential; lower assemblage; exploration progress; integration of conventional and unconventional petroleum; exploration strategy; Junggar Basin

准噶尔盆地油气资源丰富,是我国中西部4大含油气盆地之一,也是我国油气增储上产的主战场之一。近年来,中国石油在准噶尔盆地多领域、多类型油气勘探<sup>[1-9]</sup>中取得重大突破,展示了盆地巨大的勘探潜力。截至2021年底,中国石油在准噶尔盆地已发现27个油田,5个气田,累计探明石油地质储量超 $32 \times 10^8$  t(常规油)、天然气 $1\,933 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,自2002年起原油产量持续20年超千万吨<sup>[5]</sup>。而中国石化矿权区多位于盆地周缘超剥带、复杂山前带和深水区,油气成藏条件更复杂,勘探难度更大。2021年初,中国石化集团公司党组提出“在准噶尔盆地建设中等油田规模”的部署要求,并制定了准噶尔盆地中长期高质量发展规划,提出“十四五”期间新增探明储量 $1.5 \times 10^8$  t,阶段末产量达到 $240 \times 10^4$  t油气当量;“十五五”期间新增探明储量 $3.5 \times 10^8$  t,阶段末建成 $500 \times 10^4$  t原油生产基地的目标。自2000年中国石化在准噶尔盆地登记矿权以来,相继发现了春风、春晖、阿拉德等6个油田<sup>[10]</sup>,截至2021年底,中国石化在准噶尔盆地累计提交探明石油地质储量约 $1.78 \times 10^8$  t,目前年产原油约 $140 \times 10^4$  t,距离集团公司制定的发展目标还有较大差距。

从勘探现状来看,中国石化在准噶尔盆地的勘探程度不均衡,目前增储的重点领域仍主要集中在准西超剥带和准中地区上组合,特别是准西超剥带勘探程度相对较高,目前主体已进入开发阶段;而其他地区及盆地主力勘探层系(二叠系、三叠系)仍处于探索和预探阶段,未取得战略性突破。下一步准噶尔盆地主要勘探方向和领域是什么?风险勘探及增储接替领域在哪?成为中国石化亟待解决的问题,也直接关系到“十四五”“十五五”增储上产目标能否实现。

## 1 资源现状及存在问题

### 1.1 资源潜力及分布

准噶尔盆地先后开展过6次系统的资源评价工作,最近的一次评价是2019年完成的“十三五”油气资源评价,评价获取了盆地不同类型油气的资源潜力及分布情况,有效指导了盆地的勘探规划部署。

“十三五”全国油气资源评价工作中,除系统开展了盆地范围常规油气资源量计算外,还开展了部分重点地区的非常规油气资源评价。评价结果显示,准噶尔盆地油气地质资源量约为 $169 \times 10^8$  t油当量,其中常规油地质资源量 $114.9 \times 10^8$  t,常规气地质资源量 $3.55 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>;吉木萨尔、玛湖凹陷和五彩湾—石树沟凹陷有利区致密油/页岩油地质资源量 $25.1 \times 10^8$  t,准噶尔盆地南缘柴窝堡凹陷页岩气地质资源量约 $900 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。从资源分布及勘探现状来看(图1),准噶尔盆地不同地区、不同层系、不同埋深勘探程度差异明显。从层系来看,侏罗系和三叠系油气资源探明程度相对较高,分别为26.71%和37.91%;超剥带石炭系和新近系油气探明程度分别为22.07%和17.9%;二叠系探明程度仅为17.2%,待探明资源量达 $51.4 \times 10^8$  t,占待探明资源总量的39.2%。从埋深来看,资源探明程度随埋深增加呈逐渐降低的趋势,深层(4 500~6 000 m)和超深层(>6 000 m)领域探明程度极低,待探明油气地质资源量( $67.45 \times 10^8$  t)占待探明资源总量的51.34%。总体来看,深层—超深层及石炭系、二叠系资源潜力大、探明程度低,是未来油气勘探突破的重要接替领域。

截至2021年底,中国石化探区待探明常规油地质资源量为 $38.66 \times 10^8$  t(石油探明率仅为

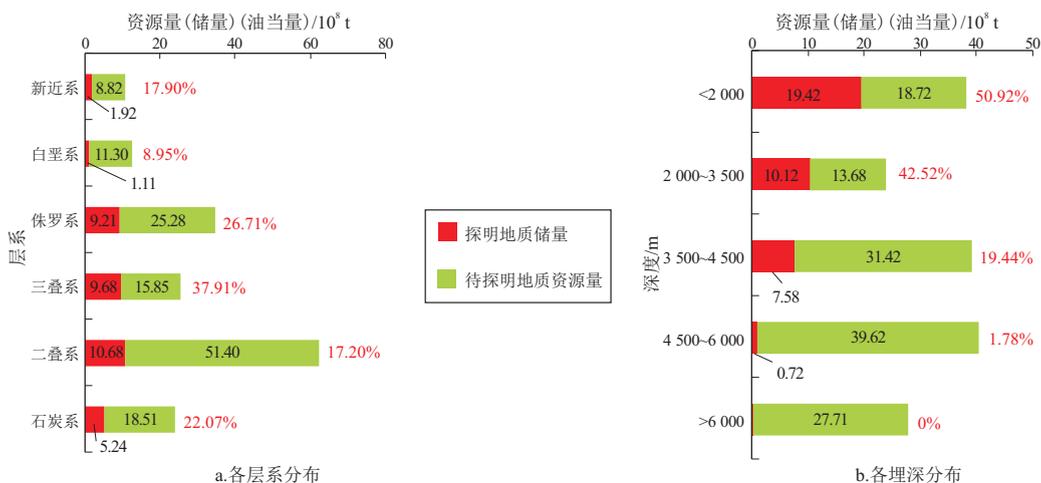


图 1 准噶尔盆地分层系、埋深油气地质资源量分布  
探明储量截至 2021 年底,红色百分数为探明率。

Fig.1 Geological resource distribution of stratified system/buried depth in Junggar Basin

5.23%), 常规天然气 ( $5\ 791.6 \times 10^8\ \text{m}^3$ ) 和页岩气 (约  $900 \times 10^8\ \text{m}^3$ ) 均未提交探明储量, 剩余资源潜力大。中国石化探区资源分布情况总体与盆地类似: 从层系来看, 下组合的石炭系、二叠系、三叠系和上组合侏罗系待探明资源量占总量的 64.2%; 从区域分布来看, 准中、准西和准东南地区待探明油气资源量均超过  $8 \times 10^8\ \text{t}$  油当量, 待探明资源丰度均超过  $10 \times 10^4\ \text{t}/\text{km}^2$  (图 2), 是下一步最有望获得勘探大突破、大发现的地区。

准噶尔盆地既是一个大型复合含油气盆地, 也是一个大型的聚煤盆地, 拥有丰富的煤炭和煤层气资源; 此外, 盆地还具备形成油页岩、油砂等油气伴生矿产资源的潜力。盆地煤层气主要分布在淮南、准东和准西北地区, 含气层位主要为侏罗系八道湾组和西山窑组。“十三五”资源评价结果显示, 盆地 2 000 m 以浅煤层气地质资源量达  $3.11 \times 10^{12}\ \text{m}^3$ , 与常规气资源量相当。近几年, 准噶尔盆地南缘煤

层气取得较好的勘探开发效果<sup>[2]</sup>。盆地油页岩主要赋存于博格达山北麓的中二叠统芦草沟组, 油页岩油地质资源量高达  $52.9 \times 10^8\ \text{t}$ 。目前, 准噶尔盆地大龙口地区芦草沟组油页岩矿主要由辽宁成大股份有限公司和新疆宝明矿业公司开发利用, 2020 年油页岩油产量超  $30 \times 10^4\ \text{t}$ , 展现出准噶尔盆地南缘低熟油页岩广阔的勘探开发前景。油砂资源主要分布在盆地西北缘, 准东和淮南部分地区也有出露, 主要储集层位为下白垩统吐谷鲁群, 其次为上侏罗统齐古组及中三叠统克拉玛依组。已证实的油砂矿点有西北缘的红山嘴、黑油山、白碱滩、风城和准东的沙丘河、淮南喀拉扎等<sup>[11]</sup>, 评价盆地埋深在 2 000 m 范围内油砂油地质资源量为  $9.85 \times 10^8\ \text{t}$ 。前期准西北缘超剥带多层系取得浅层稠油的突破<sup>[12]</sup>, 目前正在积极开展稠油的勘探开发和工程工艺一体化攻关, 下一步在加大稠油攻关力度的同时, 也应适当关注油砂油的开发利用。

### 1.2 资源评价存在的问题

从以上资源评价现状可以看出, 准噶尔盆地前期的资源评价工作主要表现为 2 个特点: 一是以石油为主, 全盆地石油地质资源量达  $140 \times 10^8\ \text{t}$  (含页岩油), 占总资源量的 82.8%, 对天然气的评价重视不够; 二是以常规油气资源评价为主, 常规油气地质资源量达  $143.2 \times 10^8\ \text{t}$  油当量, 占总量的 84.7%。目前未系统开展过盆地范围内非常规油气资源的评价工作。

目前准噶尔盆地的勘探呈现“油多气少”的局面<sup>[6]</sup>, 常规油探明率达 32.6%, 而天然气探明率仅 5.4%<sup>[13]</sup>。随着我国“稳油增气”战略和“双碳”目标的提出, 我们在加大石油勘探开发力度的同时,



图 2 准噶尔盆地中国石化探区待探明资源分布情况  
探明储量截至 2021 年底。

Fig.2 Distribution of unproved resources in SINOPEC's exploration area in Junggar Basin

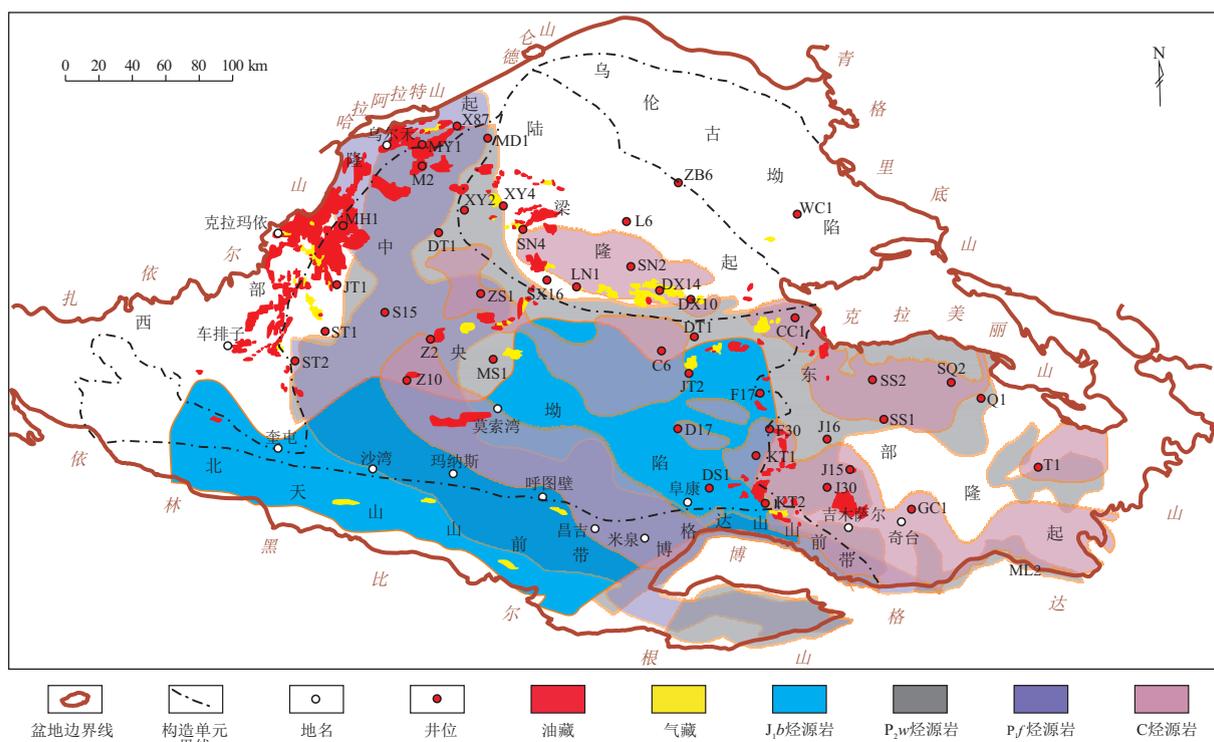


图3 准噶尔盆地构造单元与主力烃源岩分布

Fig.3 Distribution of tectonic units and main hydrocarbon source rocks in Junggar Basin

必须重视天然气的勘探,准噶尔盆地到底有没有天然气、有多少天然气、天然气分布在哪等问题亟需回答。“十三五”期间评价准噶尔盆地常规油气中油气比约为4:1,而实际情况是不是这样?

准噶尔盆地自下而上共发育8套烃源岩,其中主力烃源岩有4套,分别为石炭系、下二叠统风城组( $P_{1f}$ )、中二叠统下乌尔禾组( $P_{2w}$ )和下侏罗统八道湾组( $J_{1b}$ )<sup>[14-15]</sup>(图3)。从4套主力烃源岩的生烃品质来看,风城组和下乌尔禾组烃源岩主要以 $II_1$ — $II_2$ 型为主<sup>[8]</sup>,在中等—成熟演化阶段以生油为主,而在腹部埋深较大地区,烃源岩演化至高—过成熟演化阶段后也能由于酪根裂解和原油裂解生成大量的天然气;而石炭系和侏罗系烃源岩有机质类型均以 $II_2$ — $III$ 型偏腐殖型源岩为主,理应生成更多的天然气,但烃源岩生烃品质与目前资源评价结果匹配程度较低。近几年,准噶尔盆地除在石油领域不断取得重大突破外,在天然气领域也取得了几项重大突破<sup>[7,16-17]</sup>,展现了盆地油气并举的新局面。下一步需加强盆地天然气成藏富集规律及勘探潜力的评价,尤其是对中国石化来说,腹部探区埋深普遍较大,烃源岩多进入高—过成熟演化阶段,对天然气的评价可能更为重要。

前期更多的是针对盆地常规油气开展评价,近年来随着吉木萨尔、玛湖凹陷致密油/页岩油的突

破,逐渐开始重视非常规油气资源的评价工作,但目前对非常规油气资源的评价存在评价范围不全、评价结果不客观等诸多问题。如“十三五”期间仅开展了部分重点地区致密/页岩油气的资源量计算工作,当时评价玛湖凹陷风城组致密油/页岩油地质资源量为 $4.2 \times 10^8$  t,而近两年玛湖凹陷新增致密/页岩油控制、预测资源量已达 $3.4 \times 10^8$  t,并初步展现出超 $10 \times 10^8$  t级别的资源规模<sup>[3]</sup>,远超“十三五”资评结果。此外,吐哈油田在吉南凹陷<sup>[18]</sup>、中国石化在准西北缘哈山地区、准东南<sup>[19-20]</sup>均有发现,展现出致密油/页岩油的良好勘探潜力,因此“十三五”的致密油/页岩油资源评价结果已远不能反映勘探实际。近年来盆地石炭系、二叠系及侏罗系均取得了自生自储型致密气/页岩气的突破<sup>[9,16,21]</sup>,但前期未系统开展过针对性评价,资源亟待落实。特别是准噶尔盆地腹部中下二叠统风城组、下乌尔禾组烃源层埋深大、热演化程度高,多进入高熟—过熟演化阶段,通源断裂整体不发育<sup>[22]</sup>,理应具备较大的源内天然气资源潜力。前期准噶尔盆地煤层气的勘探开发主要集中在埋藏较浅的准噶尔盆地南缘和准东侏罗系,“十三五”期间也仅评价了2 000 m以浅的煤层气资源,而近期研究表明,中深层煤层气<sup>[23]</sup>也具备良好的勘探开发效果,且工程技术可行,下一步同样值得关注。

## 2 勘探重要启示

近几年,中国石油新疆油田分公司持续推进准噶尔盆地整体研究,围绕主力烃源岩层系开展勘探,取得了一系列油气重大发现,开创了盆地油气并举、常规—非常规并重及东西并进的勘探良性循环新局面。“十三五”期间中国石油总结的十大规模发现成果里面准噶尔盆地占了 3 项,进一步显示出盆地巨大的资源潜力及勘探前景。与中国石油相比,中国石化矿权区多位于盆地的“边”“角”“洼”地带,即多处于盆地周缘超剥带、山前带或深洼区,油气成藏条件更复杂,勘探难度更大,勘探进程也相对滞后,目前尚未取得规模突破。下一步,在充分吸收中国石化在这些特殊区域的地质研究和勘探成效分析的基础上,如何借鉴邻区成功的勘探开发经验,尽早实现中国石化在准噶尔盆地的勘探突破成为迫在眉睫的任务。

### 2.1 腹部下组合进/近源勘探突破及启示

2018 年新疆油田以“源储耦合,有序共生”的全油气系统<sup>[24]</sup>视角,重新审视风城组已发现的油气藏,构建了常规—非常规油藏有序分布新模式<sup>[25]</sup>,部署实施的盆地首口页岩油风险井——MY1 井获突破<sup>[3]</sup>;近两年又相继部署了一批探井,MY2、XY1 等多口井获高产,形成了继源上玛湖砾岩大油区之后又一更具规模的接替领域。借鉴“玛湖模式”,中国石油加大了准噶尔盆地腹部下组合的勘探力度,先后在阜康凹陷<sup>[26]</sup>、沙湾凹陷、盆 1 井西凹陷<sup>[27]</sup>、东道海子凹陷<sup>[28]</sup>取得油气新发现,展现了近源勘探的巨大潜力,也标志着盆地已进入以富烃凹陷下组合勘探为主的新时代<sup>[29]</sup>。

近年来,受中国石油凹陷边缘斜坡区二叠系—三叠系领域勘探重大突破的启示,中国石化加大了腹部下组合风险勘探力度,在 4 大凹陷先后部署实施了多口井,其中 2 口井试获油气流。2022 年,中国石化在沙湾凹陷部署的 Z10 井在上乌尔禾组获稳定油气流、克拉玛依组获高产油气流(油 58.42 m<sup>3</sup>/d,气 6 710 m<sup>3</sup>/d);东道海子凹陷部署的 C6 井在下乌尔禾组获源内天然气发现<sup>[22]</sup>,克拉玛依组获工业油流(11.1 m<sup>3</sup>/d);阜康凹陷实施的 D17 井钻揭下乌尔禾组优质烃源岩,并在与之紧邻的上乌尔禾组底部揭示含砾砂岩 79 m,油气显示活跃,有望获得突破,这进一步坚定了近源下凹致密油气勘探的信心。中国石化腹部探区位于二叠系沉积中心,构造相对稳定,油气排烃、运移比例相对偏低,滞留程度

高,下一步应瞄准二叠系 2 套优质烃源岩(P<sub>1f</sub>、P<sub>2w</sub>)及与之对应的油气成藏体系,坚定“近/进源勘探”和“立体勘探”的思路,寻求富烃凹陷常规—非常规油气一体化勘探突破。此外,中国石化准西北缘哈山探区紧邻玛湖凹陷,风城组发育与玛湖凹陷相似的碱湖相细粒混合沉积建造和岩相组合,形成多套中等—优质烃源岩,2022 年实施的 HSX4 井和 HS5 井在风城组均见到丰富油气显示,HS5 井准原地风城组近期获得高产工业油流,打开了盆缘复杂构造区页岩油勘探新局面。

### 2.2 准东石炭系多类型油气勘探突破及启示

除二叠系外,石炭系也是准噶尔盆地腹部下组合勘探最重要的一套烃源岩,但自 2006 年克拉美丽气田在石炭系获得突破后,后期针对石炭系外围的勘探一直未获实质性进展。近年来,中国石油通过加强石炭系地震资料解释攻关和烃源岩有效性评价,明确了盆地石炭系烃源岩呈“鸡窝状”分布、石炭系为若干独立的含油气子系统<sup>[30]</sup>的认识。在上述认识的基础上,在火山岩、致密气领域不断取得突破,特别是 2017 年在阜康凹陷东斜坡部署的 F26 井,在石炭系火山岩中获最高日产气 14.37×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup><sup>[31]</sup>;2018 年在古城凹陷部署的 C1 井在石炭系钻揭 130 m 的碳质泥岩、深灰色泥岩,并见良好油气显示<sup>[32]</sup>;2020 年在石钱滩凹陷部署的 SQ1 井在石钱滩组顶部砂岩段测试获日产气 6.3×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,并钻遇厚层优质烃源岩;2020 年部署在石西油田的 SX16 井在石炭系再获百吨高产,是继石西油田石炭系发现后时隔 26 年该地区的又一重大突破,也是石西地区石炭系从凸起区走向凹陷深层勘探的首次突破;2023 年部署在石钱滩凹陷北部缓坡带的 SQ3 井再获高产工业油气流,该井的突破打开了石炭系海相天然气勘探新局面,进一步坚定了准东天然气勘探的信心。

中国石化前期在石钱滩凹陷部署的 Q1 井<sup>[33]</sup>也钻揭了石钱滩组优质烃源岩的存在,并在上部平地泉组见油斑显示;2021 年在石西凹陷部署的准北 6 井在姜巴斯套组见 4 层气测异常,放喷火焰最高 8 m,首次实现了探区内石炭系自生自储型致密气的突破。上述勘探成果进一步证实了准东石炭系烃源岩的有效性,并具备形成火山岩气藏、致密气藏和页岩气等多类型油气藏的良好勘探前景。对中国石化来说,下一步要继续坚定石炭系的勘探信心不动摇,坚持多类型油气立体勘探,石西、石北、石钱滩凹陷为石炭系自生自储型天然气有利区,同时还可以兼顾石炭系火山岩气藏和平地泉组致密油/页岩油的勘探。

### 2.3 准东南常规—非常规一体化勘探突破及启示

二叠系是准东地区的重点勘探层系,中国石油早在2011年就获得了吉木萨尔芦草沟组页岩油的突破,目前已逐步进入效益开发阶段<sup>[34]</sup>;2023年部署在吉木萨尔凹陷北斜坡的QT1井获突破,打开了环洼夹层型页岩油勘探新领域,对提升油田效益具有重要的意义。2019年以来,吐哈油田加大了对吉木萨尔南部阜康断裂东段的探索,通过重新解剖区域地质结构和构造演化特征,指出吉南凹陷与吉木萨尔凹陷隔凸相望<sup>[18]</sup>,是一个相对独立的富烃凹陷。2021年实施的ST1井在井井子沟组砂岩段测试获高产油流(26.3 m<sup>3</sup>/d),钻遇芦草沟组暗色泥岩376 m,且在二叠系芦草沟组、梧桐沟组、三叠系韭菜园组和侏罗系八道湾组均钻遇油气显示;之后部署的S101井在井井子沟组也获突破,展示了环博格达山周缘多层系含油、常—非一体的勘探前景。此外,近几年中国地质调查局在博格达山前中段和柴窝堡凹陷永丰次凹部署的XJC1井<sup>[35]</sup>和XYD1井在芦草沟组也均试获日产超10 000 m<sup>3</sup>的气流,证实芦草沟组除具备向上供烃形成常规油气的潜力外,也具备形成自生自储型页岩油气的地质条件。

近几年,通过加强盆地原型恢复与芦草沟组烃源岩生烃潜力评价,进一步明确了现今位于博格达山两侧的吉南凹陷和柴窝堡凹陷在芦草沟组沉积时期为一个统一的凹陷<sup>[36]</sup>(博格达凹陷),其构造演化过程、沉积环境和成藏特征相似,均具备形成规模油气藏的潜力。目前吉南凹陷已获突破,前期中国石化在该地区部署的多口井在芦草沟组和平地泉组也见到良好油气显示,特别是2018年部署的MC2井,在芦草沟组测试获0.6×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d气流,进一步证实了该地区具备页岩气的勘探潜力。近期,胜利油田也加大了博格达山南翼柴窝堡凹陷的基础研究力度,建立了柴窝堡地区“南北对冲、多层滑脱”构造解释模型,指出凹陷中北部“三角带”地区构造变形相对较弱,具备形成以芦草沟组为源的近源非常规油气和常规构造油气藏两类勘探目标,有望获得油气突破。

### 2.4 准南缘天然气勘探突破及启示

近几年,中国石油在准南山前带连续获高产油气流,2019年南缘西段GT1井在白垩系清水河组测试获日产油1 213 m<sup>3</sup>、日产气32.17×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,创盆地单井日产量最高纪录<sup>[7]</sup>;2020年南缘中段HT1井<sup>[37]</sup>在清水河组测试获日产气61.9×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,日产油106.5 m<sup>3</sup>,创盆地深层天然气高产新纪录;

2022年南缘中段TW1井在清水河组测试获油气当量885 m<sup>3</sup>/d,进一步坚定了南缘寻找大型天然气藏的信心,也证实了准南地区侏罗系烃源岩具备形成大规模油气田的条件。准噶尔盆地南缘地区除取得构造型油气藏的突破外,侏罗系煤层气勘探开发也取得了显著的效果。目前已开展近30个煤层气勘查项目,建成了白杨河、四工河、乌鲁木齐河东煤层气开发先导试验区<sup>[2]</sup>,多个区块呈现出煤层气单井高产势头,现正着力推进煤层气规模化开发利用。除准噶尔盆地南缘煤层气获突破外,2021年新疆油田部署在白家海凸起上的风险井——彩探1H井<sup>[38]</sup>,在侏罗系西山窑组获重大突破(最高日产气5.7×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>),开辟了准噶尔盆地煤岩天然气勘探的新领域。

目前,刚完钻的的风险探井——奎屯1井在侏罗系、白垩系钻遇油气显示,正在开展试油工作,有望获得以侏罗系为源的油气突破。矿权区所在的东道海子凹陷中西部、沙湾凹陷南部、阜康凹陷和四棵树凹陷侏罗系烃源岩厚度大,有机质丰度高,且已进入成熟—高熟演化阶段<sup>[30]</sup>,在盆地腹部主要形成超覆不整合地层—岩性圈闭(如永进油田),南缘山前带在多期逆冲推覆下形成大型构造型圈闭(如GT1、TW1井等);此外,南缘构造相对稳定区,自生自储型致密气和埋藏相对较浅的煤层气同样值得探索。

## 3 常—非一体化联合攻关策略

随着准噶尔盆地勘探程度的提高,目前盆地已进入以中下组合勘探为主的新时代,油气勘探工作也面临四方面的转变:一是平面领域由正向构造单元转向广大富烃凹陷;二是纵向勘探层系由中上组合转向以中下组合近烃源岩层系勘探为主<sup>[4]</sup>;三是油气圈闭类型由以构造油气藏为主转为地层—岩性圈闭和复合圈闭;四是资源类型由以常规油气勘探为主转向常规与非常规油气并重。新的勘探阶段对准噶尔盆地油气勘探工作也提出了新的要求。

为尽快实现准噶尔盆地近中期发展目标,加快推动战略突破和高质量勘探,中国石化下一步在继续加大常规油气勘探力度的同时,有必要加强盆地非常规油气资源潜力评价及勘探开发力度,牢固树立常规—非常规油气一体化立体勘探理念,为此,提出以下勘探策略。

### 3.1 落实常规—非常规油气“资源家底”

尽管前期准噶尔盆地开展过多轮次的油气资

源评价工作,但目前对准噶尔盆地的整体认识还不够深入,存在评价类型不全、区域不全、层系不全的问题,且部分评价结果与勘探现状不符,特别是缺少对非常规油气资源潜力的系统评价。下一步要依托正在开展的“十四五”全国油气资源评价工作,按照“源储协同演化、源储差异演化”的模式,系统开展盆地“全序列、全层系、全类型”的常—非一体化资源潜力评价,综合分析各类型油气资源的形成机制和成因联系,理清其共生关系与分布规律,明确剩余油气资源分布特征,为有利勘探目标及规模增储区带提供有力支撑。

本轮资源评价要兼顾“统一性”和“特殊性”。“统一性”是指要充分利用大盆地联合研究成果,借助“中—中合作”平台,加强盆地整体研究、刻度区解剖和资源评价关键参数研究,在统一认识的基础上客观评价盆地常规、非常规油气资源潜力。“特殊性”是指资源评价中应重点考虑中国石化探区所处位置的特殊地质条件,加强深洼区油气相态转化及定量预测和盆缘复杂构造区资源量计算劈分方法研究,进一步提高资源评价结果的合理性。此外,本轮资源评价中应加强低勘探程度矿权空白区(如乌伦古拗陷)的资源潜力评估,为中国石化未来矿权拓展方向和增储领域接替提供支撑。

### 3.2 组建常规—非常规一体化协同攻关团队

中国石化股份公司和油田分公司领导的重视是盆地取得大突破、大发现的前提与核心动力。目前,中国石化集团公司已经制定了准噶尔盆地专项发展规划,胜利油田也成立了盆地勘探开发管理和责任主体单位,并与新疆油田签订了准噶尔盆地战略合作框架协议,但在盆地的整体统筹规划、整体发展战略方面仍需进一步加强;在工作重点仍集中在准西超剥带的增储上产领域的同时,还需进一步解决盆地基础研究薄弱、下组合综合地质研究和勘探开发部署力度不足的难题。下一步要立足盆地 3 大含油气系统<sup>[35]</sup>,围绕准西超剥带、腹部上组合、腹部下组合、石炭系、盆缘山前带和非常规等 6 大勘探领域,精准剖析勘探开发面临的核心问题,科学谋划总体发展思路,分层次加强盆地整体研究,持续深化基础研究,突出风险领域目标研究,油气并举,常规—非常规并重,稳步推进盆地高质量勘探。在科研团队组建方面,要内引外联,搭建以胜利油田为主体、中国石化“三大院”为支撑、高校院所为辅助的协同攻关团队,充分利用好“中—中合作”、“三方交流”、“联合攻关”等机制,构建开放式科研体系,全方位、多方式解决勘探疑难问题,

助力中国石化尽早实现在准噶尔盆地油气勘探的大突破和快增储。

### 3.3 加大风险勘探支持力度

随着准噶尔盆地油气勘探程度不断提高,勘探条件日趋复杂,常规油气勘探难度不断加大,要实现准噶尔盆地中国石化探区大突破和大发现,急需加大风险勘探力度。借鉴中国石油加强风险勘探的经验,设立专项风险投资,总部负责组织目标论证、工程设计审查及投资安排,油田分公司负责工程实施和评价分析,风险专项资金不列入油田分公司效益考核<sup>[39]</sup>。中国石油自 2004 年实施风险勘探工程后,取得了一批战略性的突破和发现,这对于中国石化风险领域勘探具有重要的启示意义。对于“四新”领域的探索要允许失利、循序渐进,重要的是坚持做好风险井钻后评价,认真分析成功经验与教训,提出今后部署建议与工作对策,稳步推进重大区带勘探突破。

### 3.4 加强地质—工程一体化联合攻关

准噶尔盆地目前已进入以富烃凹陷中下组合勘探为主的新时代,深层致密碎屑岩领域和烃源岩层系非常规油气成为近三年来新增储量的主体,但规模增储与持续上产难度大。中国石化在矿权区块存在先天不足的劣势下,面对准中超深层、山前复杂构造带等勘探领域,加强地质—工程一体化联合攻关是实现效益勘探的必由之路。

针对不同探区重点攻关方向提出如下建议:(1)准西北地区除加强超剥带稠油有效开发动用和石炭系火山岩勘探力度外,要重点探索风城组“三层楼”式致密油/页岩油形成地质条件,寻求规模突破;(2)准东地区要进一步加强石炭系烃源岩有效性评价,探索自生自储型致密气的突破;(3)准东南地区要围绕芦草沟组和八道湾组 2 套主力烃源岩,攻关保存条件对页岩油气/煤层气富集程度的影响,落实资源潜力及有利区带,同时兼顾低熟油页岩油的开发利用;(4)准西地区重点围绕四棵树凹陷侏罗系烃源岩,探索致密气/煤层气勘探开发前景;(5)腹部下组合要重点围绕二叠系风城组、下乌尔禾组 2 套主力烃源岩,按照近/进源勘探思路开展评价,重点攻关深层—超深层超压背景下储层有效性评价及成岩—成烃—成储动态演化过程,落实有利区带及风险目标,尽快实现油气突破,同时要兼顾对上组合侏罗系致密气/煤层气的勘探。

针对工程攻关提出如下建议:(1)尽快培育高精度三维地震成像、微地震检测和页岩油测井“甜

点”预测技术,以解决腹部埋深大、地震资料品质差、走滑断裂识别困难和山前带地下地表双复杂、地震成像难、构造解释多解性强以及页岩油测井甜点预测等难题;(2)亟待攻关深层—超深层优快钻完井技术,以适应腹部探区埋深大、压力大、储层致密等复杂地质条件;(3)急需发展适应复杂地质情况下的试油、压裂工程工艺技术,解决钻井测试等待时间长、储层伤害率高等工程技术问题;(4)要坚持常—非一体化立体勘探思路,遵循常—非油气“有序共生”分布模式,探索一井多探、常—非一体化联探联测、水平井多级多段压裂改造及平台式工厂化作业等,实现常规、非常规油气高效开发和整体动用<sup>[40]</sup>。

## 4 结论

(1)准噶尔盆地油气及共/伴生资源丰富,勘探潜力大,深层—超深层和石炭系—二叠系油气探明程度低,剩余资源潜力大,是未来油气勘探突破最重要的接替领域。前期资源评价重点关注了常规油的评价,存在对天然气和非常规油气资源的评价不全面、不客观等关键问题,亟需开展盆地范围天然气和非常规油气资源的系统评价工作。

(2)近年来,中国石油以全油气系统理论为指导,按照常规—非常规油气有序分布、差异富集的模式,在盆地级二叠系—三叠系进/近源勘探、准东石炭系多类型油气藏勘探、准东南常—非一体化勘探和准噶尔盆地南缘天然气勘探方面取得了一系列重大突破,为中国石化下一步在准噶尔盆地取得多领域、多类型油气藏突破提供了借鉴。

(3)准噶尔盆地的勘探目前已进入以中下组合勘探为主的新时代,近源及源内勘探将是未来油气勘探的主体,应牢固树立常—非一体化立体勘探思路,坚持“油气并举、常非并重”。建议系统开展盆地常规—非常规一体化资源评价,进一步摸清资源家底,组建以油田—科研院所—高校联合支撑的常规—非常规一体化协同攻关团队,通过地质—工程一体化联合攻关和管理体制改革,加大风险勘探支持力度,实现常规、非常规油气资源的规模增储及效益开发。

致谢:本文撰写过程中得到中国石化油田勘探开发事业部张宇副总经理、高山林首席专家,胜利油田分公司张奎华首席专家、张关龙副院长、任新成专家,中国石油新疆油田分公司唐勇首席专家的大力帮助,在此致以衷心感谢!

## 利益冲突声明/Conflict of Interests

所有作者声明不存在利益冲突。

All authors disclose no relevant conflict of interests.

## 作者贡献/Authors' Contributions

孙中良、吴小奇参与勘探进展调研;邱岐完成部分图件编制;赵永强、宋振响、王斌参与论文写作和修改。所有作者均阅读并同意最终稿件的提交。

The research on exploration progress was completed by SUN Zhongliang and WU Xiaoqi. Part of the maps compilation was completed by QIU Qi. The manuscript was drafted and revised by ZHAO Yongqiang, SONG Zhenxiang and WANG Bin. All the authors have read the last version of paper and consented for submission.

## 参考文献:

- [1] 宋永,杨智峰,何文军,等.准噶尔盆地玛湖凹陷二叠系凤城组碱湖型页岩油勘探进展[J].中国石油勘探,2022,27(1):60-72.  
SONG Yong, YANG Zhifeng, HE Wenjun, et al. Exploration progress of alkaline lake type shale oil of the Permian Fengcheng Formation in Mahu Sag, Junggar Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2022, 27(1): 60-72.
- [2] 汤达祯,杨曙光,唐淑玲,等.准噶尔盆地煤层气勘探开发与地质研究进展[J].煤炭学报,2021,46(8):2412-2425.  
TANG Dazhen, YANG Shuguang, TANG Shuling, et al. Advance on exploration-development and geological research of coalbed methane in the Junggar Basin [J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(8): 2412-2425.
- [3] 唐勇,何文军,姜懿洋,等.准噶尔盆地二叠系咸化湖相页岩油气富集条件与勘探方向[J].石油学报,2023,44(1):125-143.  
TANG Yong, HE Wenjun, JIANG Yiyang, et al. Enrichment conditions and exploration direction of Permian saline lacustrine shale oil and gas in Junggar Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2023, 44(1): 125-143.
- [4] 唐勇,雷德文,曹剑,等.准噶尔盆地二叠系全油气系统与源内天然气勘探新领域[J].新疆石油地质,2022,43(6):654-662.  
TANG Yong, LEI Dewen, CAO Jian, et al. Total petroleum system and inner-source natural gas exploration in Permian strata of Junggar Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2022, 43(6): 654-662.
- [5] 陈磊,杨懿婷,汪飞,等.准噶尔盆地勘探历程与启示[J].新疆石油地质,2020,41(5):505-518.  
CHEN Lei, YANG Yiting, WANG Fei, et al. Exploration history and enlightenment in Junggar Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2020, 41(5): 505-518.
- [6] 胡素云,王小军,曹正林,等.准噶尔盆地大中型气田(藏)形成条件与勘探方向[J].石油勘探与开发,2020,47(2):247-259.  
HU Suyun, WANG Xiaojun, CAO Zhenglin, et al. Formation conditions and exploration direction of large and medium gas reservoirs in the Junggar Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(2): 247-259.
- [7] 杜金虎,支东明,李建忠,等.准噶尔盆地南缘高探1井重大发现及下组合勘探前景展望[J].石油勘探与开发,2019,46(2):205-215.

- DU Jinhu, ZHI Dongming, LI Jianzhong, et al. Major breakthrough of well Gaotan 1 and exploration prospects of lower assemblage in southern margin of Junggar Basin, NW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2019, 46(2): 205-215.
- [8] 何文军, 费李莹, 阿布力米提·依明, 等. 准噶尔盆地深层油气成藏条件与勘探潜力分析 [J]. *地质前缘*, 2019, 26(1): 189-201.
- HE Wenjun, FEI Liying, ABLIMITIYI, et al. Accumulation conditions of deep hydrocarbon and exploration potential analysis in Junggar Basin, NW China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(1): 189-201.
- [9] 王屿涛, 吕纯刚, 姚爱国, 等. 准噶尔盆地致密砂岩气资源潜力及勘探前景 [J]. *天然气地球科学*, 2015, 26(5): 855-860.
- WANG Yutao, LV Chungang, YAO Aiguo, et al. Tight sandstone gas resource potential and exploration prospect in the Junggar Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2015, 26(5): 855-860.
- [10] 余琪祥, 程建. 中国石化准噶尔盆地油气勘探成果回顾 [J]. *西安石油大学学报(社会科学版)*, 2022, 31(5): 65-71.
- YU Qixiang, CHENG Jian. Retrospection of oil-gas exploration achievements in the Junggar Basin of SINOPEC [J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Social Science Edition)*, 2022, 31(5): 65-71.
- [11] 王启予, 黄涛, 田继军, 等. 准噶尔盆地油砂地质条件及成藏模式 [J]. *特种油气藏*, 2020, 27(3): 60-65.
- WANG Qiyu, HUANG Tao, TIAN Jijun, et al. Oil sand geology and hydrocarbon accumulation models in Junggar Basin [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2020, 27(3): 60-65.
- [12] 王圣柱. 哈山复杂构造带形成演化对油气成藏的控制作用 [D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2015: 66-70.
- WANG Shengzhu. The formation and evolution of Hashan structural belt and its controlling on hydrocarbon in the northern of Junggar Basin [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2015: 66-70.
- [13] 龚德瑜, 刘海磊, 杨海波, 等. 准噶尔盆地风城组烃源岩生气潜力与天然气勘探领域 [J]. *新疆石油地质*, 2022, 43(6): 674-683.
- GONG Deyu, LIU Hailei, YANG Haibo, et al. Gas generation potential of Fengcheng Formation source rocks and exploration fields in Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2022, 43(6): 674-683.
- [14] 周雨双, 贾存善, 张奎华, 等. 应用 TSM 盆地模拟技术恢复准噶尔盆地东北缘石炭系烃源岩热演化史 [J]. *石油实验地质*, 2021, 43(2): 297-306.
- ZHOU Yushuang, JIA Cunshan, ZHANG Kuihua, et al. Thermal evolution history reconstruction of Carboniferous source rocks on the northeastern margin of Junggar Basin using TSM basin simulation technology [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2021, 43(2): 297-306.
- [15] 杨智峰, 唐勇, 郭旭光, 等. 准噶尔盆地玛湖凹陷二叠系风城组页岩油赋存特征与影响因素 [J]. *石油实验地质*, 2021, 43(5): 784-796.
- YANG Zhifeng, TANG Yong, GUO Xuguang, et al. Occurrence states and potential influencing factors of shale oil in the Permian Fengcheng Formation of Mahu Sag, Junggar Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2021, 43(5): 784-796.
- [16] 江梦雅, 王江涛, 刘龙松, 等. 准噶尔盆地盆 1 井西凹陷石炭系—二叠系天然气特征及成藏主控因素 [J]. *岩性油气藏*, 2022, 35(3): 138-151.
- JIANG Mengya, WANG Jiangtao, LIU Longsong, et al. Characteristics and main controlling factors of natural gas of Carboniferous-Permian in western well Pen-1 sag, Junggar Basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2023, 35(3): 138-151.
- [17] 陈建平, 王绪龙, 倪云燕, 等. 准噶尔盆地南缘天然气成藏及勘探方向 [J]. *地质学报*, 2019, 93(5): 1002-1019.
- CHEN Jianping, WANG Xulong, NI Yunyan, et al. The accumulation of natural gas and potential exploration regions in the southern margin of the Junggar Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2019, 93(5): 1002-1019.
- [18] 梁世君, 罗劝生, 康积伦, 等. 准噶尔盆地吉南凹陷萨探 1 井风险勘探突破及意义 [J]. *中国石油勘探*, 2021, 26(4): 72-83.
- LIANG Shijun, LUO Quansheng, KANG Jilun, et al. Breakthrough and significance of risk exploration in well Satan 1 in Jinan Sag, Junggar Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2021, 26(4): 72-83.
- [19] 曾治平, 柳志泉, 赵乐强, 等. 准噶尔盆地西北缘哈山地区二叠系风城组页岩油储层特征及其控制因素 [J]. *岩性油气藏*, 2023, 35(1): 25-35.
- ZENG Zhiping, LIU Zhongquan, ZHAO Leqiang, et al. Shale oil reservoir characteristics and controlling factors of Permian Fengcheng Formation in Hashan area, northwestern margin of Junggar Basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2023, 35(1): 25-35.
- [20] 王圣柱. 准噶尔盆地博格达地区中二叠统芦草沟组岩相类型及页岩油储集特征 [J]. *大庆石油地质与开发*, 2021, 40(1): 1-16.
- WANG Shengzhu. Lithofacies types and shale-oil accumulating characteristics of Middle Permian Lucaogou Formation in Bogda area of Junggar Basin [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2021, 40(1): 1-16.
- [21] 吴晓智, 赵玉梅, 王社教, 等. 准噶尔盆地侏罗系煤系地层致密砂岩气资源潜力分析 [J]. *天然气地球科学*, 2016, 27(9): 1679-1687.
- WU Xiaozhi, ZHAO Yumei, WANG Shejiao, et al. Analysis on the resource potential of tight sandstone gas of Jurassic coal measure in Junggar Basin, China [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2016, 27(9): 1679-1687.
- [22] 张仲培, 张宇, 张明利, 等. 准噶尔盆地中部凹陷区二叠系—三叠系油气成藏主控因素与勘探方向 [J]. *石油实验地质*, 2022, 44(4): 559-568.
- ZHANG Zhongpei, ZHANG Yu, ZHANG Mingli, et al. Main controlling factors and exploration direction of Permian to Triassic reservoir in the central sag of Junggar Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2022, 44(4): 559-568.
- [23] 郑司建, 桑树勋. 煤层气勘探开发研究进展与发展趋势 [J]. *石油物探*, 2022, 61(6): 951-962.
- ZHENG Sijian, SANG Shuxun. Progress of research on coalbed methane exploration and development [J]. *Geophysical Prospecting For Petroleum*, 2022, 61(6): 951-962.
- [24] 贾承造. 论非常规油气对经典石油天然气地质学理论的突破及意义 [J]. *石油勘探与开发*, 2017, 44(1): 1-11.

- JIA Chengzao. Breakthrough and significance of unconventional oil and gas to classical petroleum geological theory [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2017, 44(1): 1-11.
- [25] 支东明,唐勇,何文军,等. 准噶尔盆地玛湖凹陷风城组常规—非常规油气有序共生与全油气系统成藏模式 [J]. *石油勘探与开发*, 2021, 48(1): 38-51.
- ZHI Dongming, TANG Yong, HE Wenjun, et al. Orderly coexistence and accumulation models of conventional and unconventional hydrocarbons in Lower Permian Fengcheng Formation, Mahu Sag, Junggar Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2021, 48(1): 38-51.
- [26] 何海清,支东明,唐勇,等. 准噶尔盆地阜康凹陷康探1井重大突破及意义 [J]. *中国石油勘探*, 2021, 26(2): 1-11.
- HE Haiqing, ZHI Dongming, TANG Yong, et al. A great discovery of well Kangtan 1 in the Fukang Sag in the Junggar Basin and its significance [J]. *China Petroleum Exploration*, 2021, 26(2): 1-11.
- [27] 王江涛,刘龙松,江梦雅,等. 准噶尔盆地盆1井西凹陷及周缘二叠系风城组油气地质特征与勘探潜力 [J]. *天然气地球科学*, 2023, 34(5): 794-806.
- WANG Jiangtao, LIU Longsong, JIANG Mengya, et al. Oil and gas geological characteristics and exploration potential of Permian Fengcheng Formation in western well Pen-1 sag and its surrounding areas in Junggar Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2023, 34(5): 794-806.
- [28] 李艳平,邹红亮,李雷,等. 准噶尔盆地东道海子凹陷上乌尔禾组油气勘探思路及发现 [J]. *新疆石油地质*, 2022, 43(2): 127-134.
- LI Yanping, ZOU Hongliang, LI Lei, et al. Petroleum exploration ideas and discoveries in Upper Wuerhe Formation, Dongdaohaizi Sag, Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2022, 43(2): 127-134.
- [29] 唐勇,宋永,何文军,等. 准噶尔叠合盆地复式油气成藏规律 [J]. *石油与天然气地质*, 2022, 43(1): 132-148.
- TANG Yong, SONG Yong, HE Wenjun, et al. Characteristics of composite hydrocarbon accumulation in a superimposed basin, Junggar Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2022, 43(1): 132-148.
- [30] 王小军,宋永,郑孟林,等. 准噶尔盆地复合含油气系统与复式聚集成藏 [J]. *中国石油勘探*, 2021, 26(4): 29-43.
- WANG Xiaojun, SONG Yong, ZHENG Menglin, et al. Composite petroleum system and multi-stage hydrocarbon accumulation in Junggar Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2021, 26(4): 29-43.
- [31] 龚德瑜,王绪龙,周川闽,等. 准噶尔盆地东南部石炭系规模烃源岩的发现及天然气勘探潜力 [J]. *石油学报*, 2021, 42(7): 836-852.
- GONG Deyu, WANG Xulong, ZHOU Chuanmin, et al. Discovery of large-scale Carboniferous source rocks and natural gas exploration potential in the southeast of Junggar Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2021, 42(7): 836-852.
- [32] 武小宁,邓勇,刘啸虎,等. 准东石炭系烃源岩分布及勘探潜力分析 [J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2022, 44(4): 14-26.
- WU Xiaoning, DENG Yong, LIU Xiaohu, et al. An analysis of distribution of Carboniferous source rocks and exploration potential analysis in eastern Junggar Basin [J]. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 2022, 44(4): 14-26.
- [33] 王越,于洪州,熊伟,等. 石钱滩凹陷二叠系平地泉组层序沉积特征及石油地质意义 [J]. *油气地质与采收率*, 2021, 28(4): 35-45.
- WANG Yue, YU Hongzhou, XIONG Wei, et al. Sequence sedimentary characteristics and petroleum geological significance of Permian Pingdiquan Formation in Shiqiantan Sag [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2021, 28(4): 35-45.
- [34] 谢建勇,崔新疆,李文波,等. 准噶尔盆地吉木萨尔凹陷页岩油效益开发探索与实践 [J]. *中国石油勘探*, 2022, 27(1): 99-110.
- XIE Jianyong, CUI Xinjiang, LI Wenbo, et al. Exploration and practice of benefit development of shale oil in Jimsar Sag, Junggar Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2022, 27(1): 99-110.
- [35] 包书景,李世臻,徐兴友,等. 全国油气资源战略选区调查工程进展与成果 [J]. *中国地质调查*, 2019, 6(2): 1-17.
- BAO Shujing, LI Shizhen, XU Xingyou, et al. Progresses and achievements of the national oil and gas resource strategic constituency survey project [J]. *Geological Survey of China*, 2019, 6(2): 1-17.
- [36] 庞志超,焦悦,袁波,等. 准噶尔盆地南缘二叠—三叠纪原型盆地性质与沉积环境演化 [J]. *地质学报*, 2020, 94(6): 1813-1838.
- PANG Zhichao, JIAO Yue, YUAN Bo, et al. Permian-Triassic depositional environmental evolution and the prototype basin of the southern Junggar Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94(6): 1813-1838.
- [37] 鲁雪松,赵孟军,张凤奇,等. 准噶尔盆地南缘前陆冲断带超压发育特征、成因及其控藏作用 [J]. *石油勘探与开发*, 2022, 49(5): 859-870.
- LU Xuesong, ZHAO Mengjun, ZHANG Fengqi, et al. Characteristics, origin and controlling effects on hydrocarbon accumulation of overpressure in foreland thrust belt of southern margin of Junggar Basin, NW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2022, 49(5): 859-870.
- [38] 郭绪杰,支东明,毛新军,等. 准噶尔盆地煤气的勘探发现及意义 [J]. *中国石油勘探*, 2021, 26(6): 38-49.
- GUO Xujie, ZHI Dongming, MAO Xinjun, et al. Discovery and significance of coal measure gas in Junggar Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2021, 26(6): 38-49.
- [39] 王宜林,赵文智,杜金虎,等. 中国石油风险勘探工程决策管理与实施成效 [J]. *中国石油勘探*, 2021, 26(1): 1-16.
- WANG Yilin, ZHAO Wenzhi, DU Jinhu, et al. Decision management and implementation effect of venture exploration projects of CNPC [J]. *China Petroleum Exploration*, 2021, 26(1): 1-16.
- [40] 杨智,邹才能. 论常规—非常规油气有序“共生富集”: 兼论常规—非常规油气地质学理论技术 [J]. *地质学报*, 2022, 96(5): 1635-1653.
- YANG Zhi, ZOU Caineng. "Orderly symbiotic enrichment" of conventional & unconventional oil and gas: discussion on theory and technology of conventional & unconventional petroleum geology [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2022, 96(5): 1635-1653.